ICS 23.040.10；75.200
P 94
备案号：9591—2001

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 0325—2001

安装网
www.azwang.com

钢质管道穿越铁路和公路推荐作法

Steel pipelines crossing railroads and highways

2001－09－24 发布　　2002－01－01 实施

国家经济贸易委员会　　发 布

目　　次

前言 …… Ⅳ
API 前言 …… Ⅴ
1　范围 …… 1
2　引用标准 …… 1
3　符号、公式及定义 …… 2
4　安全条款 …… 5
5　无套管穿越 …… 5
6　套管穿越 …… 22
7　安装 …… 25
8　铁路和公路越过现有管道 …… 26
附录 A（标准的附录）　补充材料性能和无套管穿越设计值 …… 28
附录 B（提示的附录）　无套管穿越设计范例 …… 30
附录 C（标准的附录）　套管壁厚 …… 39

前　言

本标准是将 API RP 1102《钢质管道穿越铁路和公路推荐作法》（第 6 版）进行转化，按照 GB/T 1.1《标准化导则　第 1 单元：标准的起草与表述规则　第一部分：标准编写的基本规定》的要求编写的，作为我国石油天然气行业推荐性标准。本标准在技术内容上与 API RP 1102 等效，在编写规则上与之等同。

由于将 API RP 1102 等效转化为我国石油天然气行业标准时，应符合 GB/T 1.1 的规定，故原标准的章节有所变动，增加了第 2 章“引用标准”，而从 API RP 1102 第 2 章开始的每一章编号都加 1，即 API RP 1102 第 2 章改成本标准第 3 章，依次类推；各章中的条号和内容不变或稍有改变。根据我国石油天然气行业标准实际应用情况，将 API RP 1102 第 8 章“参考文献”取消，保存附录 A、附录 B、附录 C；其中附录 A、附录 C 作为标准的附录，附录 B 作为提示的附录。

根据 GB/T 1.1 的要求，本标准目次中只列出 API RP 1102 目次中章的标题，取消了 API RP 1102 中的特别说明，保留了 API RP 1102 的前言，同时增加了本标准的“前言”。

根据 GB/T 1.1 的要求，本标准中一律采用国家颁布的法定计量单位。

本标准由中国石油天然气集团公司提出。

本标准由中国石油天然气集团公司石油工程建设施工专业标准化委员会归口。

本标准起草单位：四川石油管理局油气田建设工程总公司、四川石油勘察设计院。

本标准主要起草人　郑玉刚　叶学礼　朱正诚

本标准委托四川石油勘察设计院负责解释设计部分；四川石油管理局油气田建设工程总公司负责解释施工部分。

API 前言

需要一部穿越铁路的管线安装工业推荐作法，是在 1934 年由美国石油学会（API）规程 26 的出版而首先加以确认的。这本规程体现了管道工业与铁路工业之间就当时使用较多的小管径管道的安装问题上的相互理解。

1946 年后，随着采用大口径管子的管线系统的迅速发展，导致对 API 规程 26 的重新评价和修订，将管线的设计准则纳入规程。在 1949 年至 1952 年间作了一系列修改，最后在 1952 年制定了 API RP 1102。API RP 1102（1952）包括预计节省费用的公路穿越，这种节省主要来自正在施工的国防州际公路系统中薄壁套管的采用。

API RP 1102（1968）容纳了从无套管输送管与套管设计中的已知数据和受静载、活载以及内压的无套管输送管的运行中获得的知识。使用 Spangler 的 Iowa 公式进行的大量计算机分析来确定无套管输送管的管子应力和在需安装套管情况下套管的壁厚。

自 1934 年以来，按照 API 规程 26 和 API RP 1102 安装的无套管与有套管的输送管的穿越管线的运转一直是很好的。在石油工业中，穿越铁路或公路的输送管道或套管，没有因土壤和动载荷的作用而发生结构破坏。关于这一点，在管线公司依照第 49 号美国联邦法规第 195 篇给美国运输部的报告中得以证实。

无套管输送管和套管的良好运转情况可能部分地是由于设计工艺所确定的所需壁厚的缘故。通过对使用以前的 API RP 1102 设计准则实际安装的套管和输送管的测量证明，过去的设计方法是保守的。1985 年美国康奈尔大学天然气研究所（GRI）出资研究开发设计了无套管输送管穿越铁路和公路的改进方法，该项研究范围包括铁路和公路穿越作法和运转情况的目前技术水平评价，铁路和公路下无套管输送管三维有限元模型以及全面仪器监测管线的大范围的现场试验。这项研究成果为本版 API RP 1102 中规定的无套管输送管的设计新方案提供了依据。GRI 的总结报告（《管道穿越铁路和公路技术总结和基本数据指南》，Ingraffea et al 著），包括了数字模型结果、本推荐作法中采用的设计曲线的全面推导以及在试验管线上所做的现场测试基本数据。

本推荐作法包括需要安装套管时套管壁厚的表列数值，所采用的载荷值，铁路为 Cooper E－80，175％的冲击载荷；公路为每一双轴轮荷载 10000lb（44.5kN），150％的冲击载荷。应当注意作用于挠性管子上的外部载荷能引起管子压曲损坏。当竖向直径经受 18％～22％的变形时才产生压曲，尽管金属承受的压力远远超出它的弹性极限，但由压曲造成的损坏并不会导致管壁的破裂。与厚壁刚性结构相反，API RP 1102（1993）认可适当安装挠性套管这种作法，其设计准则是以最大垂直变形等于竖向直径的 30％为基础。对采用 API RP 1102（1981）设计准则实际安装的套管的测定表明，Iowa 公式是非常保守的，而且在大多数情况下，测量的长期垂直变形一直是竖向直径的 0.65％或更小一些。

API RP 1102 现已进行了多次修订和改进，在此过程中，充分利用了对测量在各种环境条件下受外载荷作用的无套管管线实际性能的最新研究与经验以及自 API RP 1102 上一次修订以来所开发的新材料和新施工技术。现行的 API RP 1102（1993）是第六版，它反映了最新的设计准则和施工技术。

API RP 1102（1993）第六版由 API 管道输送中心委员会及其设计施工委员会应用了负责全国石油管道设计、施工、操作及维修的有资格的工程师们的丰富知识和经验而修订的，API 对他们所做的贡献表示诚挚的谢意。API 对 GRI 为本推荐作法所做的贡献在此给予表彰，同时感谢其在提供最新管线设计技术上的大力合作。

API 出版物可供愿意执行的任何人使用，学会所做的不懈的努力是为了保证本推荐作法中所使用数据的准确性和可靠性。但是，学会不代表、保证或担保本出版物，并明确表示，对因使用本出版物而导致的损失或损坏，或由于本出版物可能与任何联邦、州的或市的法规有矛盾而违反了这些法规，API 均不承担任何义务和责任。

欢迎对本推荐作法的各种改进建议，并请将建议提交美国石油学会制造、分配和市场部（1220 L Street，N. W Washington D. C. 20005）。

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 0325－2001

钢质管道穿越铁路和公路推荐作法

Steel pipelines crossing railroads and highways

1 范围

1.1 概述

本推荐作法主要规定了公共安全方面的条款。其内容包括确保钢质管道安全穿越铁路和公路所需的设计、安装、检验和试验方面的要求，主要适用于穿越铁路和公路的焊接钢质管道的设计与施工。本推荐作法的条款的目的是为保护被管道穿越的设施以及为管线的安全安装与操作提供满足要求的设计而制定的。

1.2 应用

本推荐作法适用于管道穿越铁路和公路的施工，同时也适用于铁路或公路施工越过现有管道时对管道的调整。本推荐作法不应用于追溯既往，不应把本推荐作法应用于本版生效日或其以前签订施工合同的管道；不适用于定向钻曲线穿越和公用隧道中安装的管道。

1.3 管道类型

本推荐作法适用于焊接钢质管道。

1.4 公共安全条款

本推荐作法主要强调公共安全。本推荐作法中所提出的条款，足以保证管道及管道设施在正常条件下的安全。对于非正常或罕见条件下的要求未作具体的规定，也未规定设计与施工的所有细节。在管道设计与施工中应遵守相应的国家、地方和行业[1]的规定以及对被穿越设施有管辖权的规章制度。

1.5 穿越的认可

在管线穿越施工前，应与被穿越设施的主管部门达成协议。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

① GB/T 9711.1－1997 石油天然气工业 输送钢管交货技术条件 第1部分：A级钢管

② GB 50251－94 输气管道工程设计规范

③ GB 50253－94 输油管道工程设计规范

④ SY 0401－98 输油输气管道线路工程施工及验收规范

⑤ SY/T 4103－1995 钢质管道焊接及验收

⑥ SY/T 6064－94 管道干线标记设置技术规定

⑦ API RP 1117 放低不停输管线（1995年版）

⑧ API Spec 5L 管线钢管规范（2000年版）

⑨ API Std 1104 管道焊接及有关设备（1999年版）

⑩ API RP 1109 标记液体石油管线设施（1993年版）

采用说明：1] 原标准按国外管理规定，本标准按本国的管理程序进行改动。

国家经济贸易委员会 2001－09－24 批准　　2002－01－01 实施

⑪ ASME B31.4　烃类：液化石油气、无水氨及醇类、液体输送管线系统（1992 年版）

⑫ ASME B31.8　石油管道规范　输气和配气管线系统（1999 年版）

注：以上⑦、⑧、⑨、⑩、⑪、⑫项，在使用本标准时可参考采用。

3　符号、公式及定义

3.1　符号

A_p：轮荷载作用接触面，m^2；

B_d：穿越钻孔直径，mm；

B_e：土荷载引起的环向应力埋深系数；

D：管子外径，mm；

E：纵向焊缝系数；

E'：土壤反作用模量，MPa；

E_e：土荷载引起的环向应力挖掘系数；

E_r：土壤弹性模量，MPa；

E_s：钢杨氏模量，kPa；

F：按照标准作法或规程要求选择的设计系数；

F_i：冲击系数；

G_{Hh}：公路车辆荷载引起的周期环向应力几何系数；

G_{Hr}：铁路荷载引起的周期环向应力几何系数；

G_{Lh}：公路车辆荷载引起的周期轴向应力几何系数；

G_{Lr}：铁路荷载引起的周期轴向应力几何系数；

H：管顶埋深，m；

HVL：易挥发液；

K_{He}：土荷载引起的环向应力刚性系数；

K_{Hh}：公路车辆荷载引起的周期环向应力刚性系数；

K_{Hr}：铁路荷载引起的周期环向应力刚性系数；

K_{Lh}：公路车辆荷载引起的周期轴向应力刚性系数；

K_{Lr}：铁路荷载引起的周期轴向应力刚性系数；

L：公路轴组合系数；

L_G：穿越管线环焊缝离轨道中心线距离，m；

$MAOP$：气体最大允许操作压力，kPa；

MOP：液体最大操作压力，kPa；

N_H：周期环向应力双轨系数；

N_L：周期纵向应力双轨系数；

N_t：穿越铁路处轨道数；

P：轮荷载，kN；

P_s：单轴轮荷载，kN；

P_t：双轴轮荷载，kN；

p_i：管道内压，kPa；

R：公路路面类型系数；

R_F：疲劳轴向应力折减系数；

S_{eff}：**总有效应力**，kPa；

S_{FG}：**环焊缝抗疲劳性**，kPa；

S_{FL}：**纵焊缝抗疲劳性**，kPa；

S_{He}：**土荷载引起的环向应力**，kPa；

S_{Hi}：**用平均直径计算的内压引起的环向应力**，kPa；

S_{Hi}（Barlow）：**用** Barlow **公式计算的内压引起的环向应力**，kPa；

S_1，S_2，S_3：**管子主应力**，kPa；

S_1——**最大环向应力**；

S_2——**最大轴向应力**；

S_3——**最大径向应力**；

$SMYS$：**规定的最小屈服强度**，kPa；

T：**温度折减系数**；

T_1，T_2：**温度**，℃；

t_w：**管子壁厚**，mm；

W：**外加设计表面压力**，kPa；

α_T：**热膨胀系数**，$℃^{-1}$；

γ：**土壤单位质量**，kN/m^3；

ΔS_H：**周期环向应力**，kPa；

ΔS_{Hh}：**公路车辆荷载引起的周期环向应力**，kPa；

ΔS_{Hr}：**铁路荷载引起的周期环向应力**，kPa；

S_L：**周期纵向应力**，kPa；

ΔS_{Lh}：**公路车辆荷载引起的周期轴向应力**，kPa；

ΔS_{Lr}：**铁路荷载引起的周期轴向应力**，kPa；

ν_s：**钢泊松比**。

3.2 公式

注：下列所有应力单位为 kPa。

项　目	公　式	编　号
土荷载：	$S_{He}=K_{He}B_eE_e\gamma D$	(1)
可变荷载：	$W=P/A_p$	(2)
	$\Delta S_{Hr}=K_{Hr}G_{Hr}N_LF_iW$	(3)
	$\Delta S_{Lr}=K_{Lr}G_{Lr}N_LF_iW$	(4)
	$\Delta S_{Hh}=K_{Hh}G_{Hh}RLF_iW$	(5)
	$\Delta S_{Lh}=K_{Lh}G_{Lh}RLF_iW$	(6)
内部荷载：	$S_{Hi}=p(D-t_w)/2t_w$	(7)
天然气：	$[S_{Hi}(\text{Barlow})=pD/2t_w]\leqslant F\cdot E\cdot T\cdot SMYS$	(8a)
液体：	$[S_{Hi}(\text{Barlow})=pD/2t_w]\leqslant F\cdot E\cdot SMYS$	(8b)

计算应力极限：

环向： $$S_1 = S_{He} + \Delta S_H + S_{Hi} \quad (9)$$

轴向： $$S_2 = \Delta S_L - E_s \alpha_T (T_2 - T_1) + \nu_s (S_{He} + S_{Hi}) \quad (10)$$

径向： $$S_3 = -p = -MAOP \text{ 或 } -MOP \quad (11)$$

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}[(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]} \quad (12)$$

$$S_{eff} \leqslant SMYS \cdot F \quad (13)$$

$$\Delta S_L \leqslant S_{FG} \cdot F \quad (14)$$

$$\Delta S_{Lr} / N_L \leqslant S_{FG} \cdot F \quad (15)$$

$$R_F \Delta S_{Lr} / N_L \leqslant S_{FG} \cdot F \quad (16)$$

$$\Delta S_{Lh} \leqslant S_{FG} \cdot F \quad (17)$$

$$\Delta S_H \leqslant S_{FL} \cdot F \quad (18)$$

$$\Delta S_{Hr} / N_H \leqslant S_{FL} \cdot F \quad (19)$$

$$\Delta S_{Hh} \leqslant S_{FL} \cdot F \quad (20)$$

3.3 定义

本推荐作法采用下列定义。

3.3.1 输送管：输送气体或液体的钢质管道。

3.3.2 带套管管道：用套管穿越铁路或公路，在套管中安装输送管的管道。

3.3.3 套管：输送管可安装在其中的管子。

3.3.4 弹性套管：可承受永久变形或改变形状而管壁不破裂的套管。如钢管。

3.3.5 弹性路面：用粘性沥青材料铺设的公路表层。

3.3.6 环焊缝：连接两相邻管段的全周向对接焊接接头。

3.3.7 易挥发液（HVL）：是一种排放至大气会生成蒸气，在 37.8℃ 时其蒸气压力超过 276kPa 的危险液体。

3.3.8 公路：作为通道频繁使用，供机动车辆行驶的任何道路。

3.3.9 纵焊缝：在管子制造过程中完成的、沿管子长度方向分布的、开坡口全焊透的焊缝。

3.3.10 最大允许操作压力（*MAOP*）或最大操作压力（*MOP*）：是指在根据适用的设计规范和规定确定的界限下，管道或管段可能操作的最大压力。

3.3.11 冲击挖掘法：是一种施工方法。即利用冲击挖掘装置向前开挖孔洞，同时顶进管段紧跟其后。

3.3.12 钻孔顶管法：是一种施工方法。即在用一连续钻钻孔的同时，紧跟其后进行管段焊接和顶进。

3.3.13 压力试验：在规定试验压力和持续时间条件下，对安装完毕的管道、管道系统或管段进行连续的、不间断的试验，以此检验其投产资格。

3.3.14 铁路：指将钢轨固定于铺设路基上的轨枕上的钢轨。供由机车牵引或自带发动机驱动的车辆行驶的轨道。

3.3.15 刚性路面：由普通硅酸盐水泥混凝土铺设的公路表层或浅表层。

3.3.16 拼合套管：是一种用沿纵向剖成两部分，然后把这两部分重新焊接在输送管外面的套管。

3.3.17 无沟施工：指不用开挖管沟，只在地面下挖掘孔洞来安装管道的任何施工方法。

3.3.18 无套管管道：指不用套管，直接穿越铁路和公路的输送管。

4 安全条款

4.1 在穿越施工期间，应遵守对管道或被穿越设施有管辖权的管理部门的有关规定。

4.2 为预防可能发生的危险，应布置警卫（或看守），安放警告标志、灯或闪光信号装置，设置并维护临时人行道、栅栏或路障。

4.3 在任何位置穿过铁路运输设备时，应事前征得铁路主管部门的许可[2]。

4.4 车辆、设备、材料以及人员穿过公路，都应严格遵守相应管理部门的规定。应采取预防和准备措施，如指派持旗人员指挥交通和设备运输，防止公路路面或公路结构的损坏。公路路面应无污物、石块、泥浆、油及产生不安全因素的其它杂物。

4.5 穿越施工中所用设备和所采用的施工方法，不应对穿越处及其邻近处的任何结构和设施造成损坏或使其操作不安全。

4.6 铁路或公路排水沟应保持通畅，避免淹没或浸蚀路基或相邻财产。

5 无套管穿越

5.1 穿越的类型

确定是否采用无套管穿越必须以仔细考虑无套管管道所承受的应力以及与防止带套管管道腐蚀有关的潜在困难为基础。本章专门致力于无套管管道设计，以满足其在穿越铁路和公路所承受的应力和变形。本章条款适用于穿越铁路和公路的焊接钢质管道的设计与施工。

5.2 概述

5.2.1 输送管应尽可能取直，在整个穿越段内应有均匀的土壤支撑垫层。

5.2.2 输送管的安装应尽量使其与周围土壤之间的空隙最小。

5.2.3 输送管的焊接应符合 API Std 1104，SY/T 4013[3] 或 ASME B31.4 或 ASME B31.8 的规定。

5.3 定位与对中

5.3.1 穿越管道与被穿越的铁路或公路之间的夹角应尽可能接近 90°。在任何情况下不得小于 30°。

5.3.2 穿越位置，应尽可能避免在潮湿或岩石地带及需要深挖处穿越。

5.3.3 管线与其邻近构筑物或设施之间的垂直和水平净距，必须满足管线和构筑物或设施维护的要求。

5.4 覆盖层

5.4.1 铁路穿越

穿越铁路的输送管，其最小覆盖层厚度（从管顶至铁路路基的距离，如图 1 所示）应符合表 1 的要求。

表 1 管道穿越铁路覆盖层厚度

位　置	最小覆盖层厚度 m
a. 轨枕下	1.8
b. 铁路界限范围内其它表面以下或距排水沟沟底距离	0.9
c. 输送易挥发性液体的管线	1.2

采用说明：2] 原标准中公共或私人通道口的提法不适于我国国情，未采用。

3] 原标准规定应符合 API Std 1104 的要求，因 SY/T 4103 与之等效，本标准增加采用 SY/T 4103。

5.4.2 公路穿越

穿越公路的输送管，其最小覆盖层厚度（从管顶至公路路面，如图1所示），应符合表2的要求。

表2 管道穿越公路覆盖层厚度

位　　置	最小覆盖层厚度 m
a. 在公路路面以下	1.2
b. 在公路界限范围内的其它所有表面下	0.9
c. 输送易挥发性液体管线	1.2

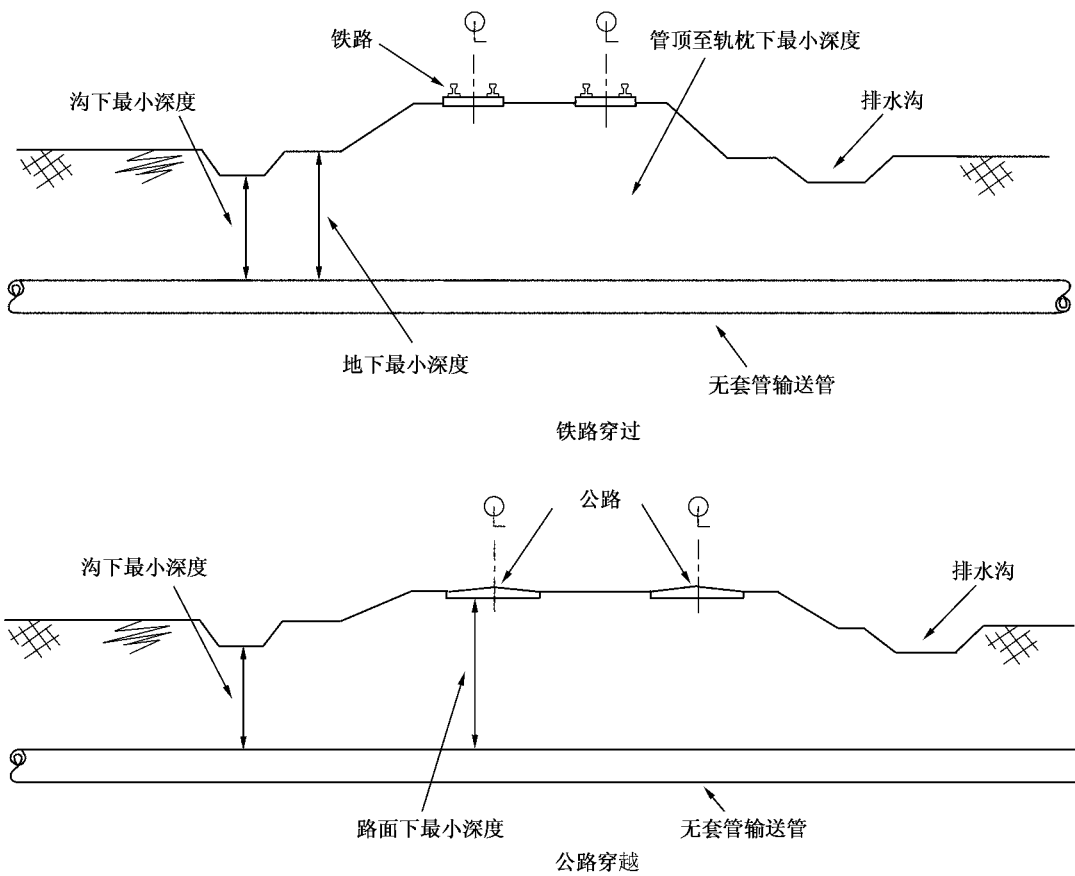


图1 无套管穿越安装示意图

5.4.3 机械保护

最小覆盖层厚度如果不能达到5.4.1和5.4.2的要求，则应对管道进行机械保护。

5.5 设计

为确保管道安全运行，必须全面计算影响无套管管道的所有应力，包括环向应力和纵向应力。图2为用图解法表示的推荐设计程序。其包括以下步骤：

a）首先从与穿越管道相接近的给定的管径管子壁厚着手，确定管子、土壤、施工以及操作特性。

b）用Barlow公式计算由内压引起的环向应力 S_{Hi}（Barlow），然后对照最大允许值校核 S_{Hi}（Barlow）。

c）计算由土荷载引起的环向应力 S_{He}。

d）计算外部可变载荷 W，并确定相应的冲击系数 F_i。

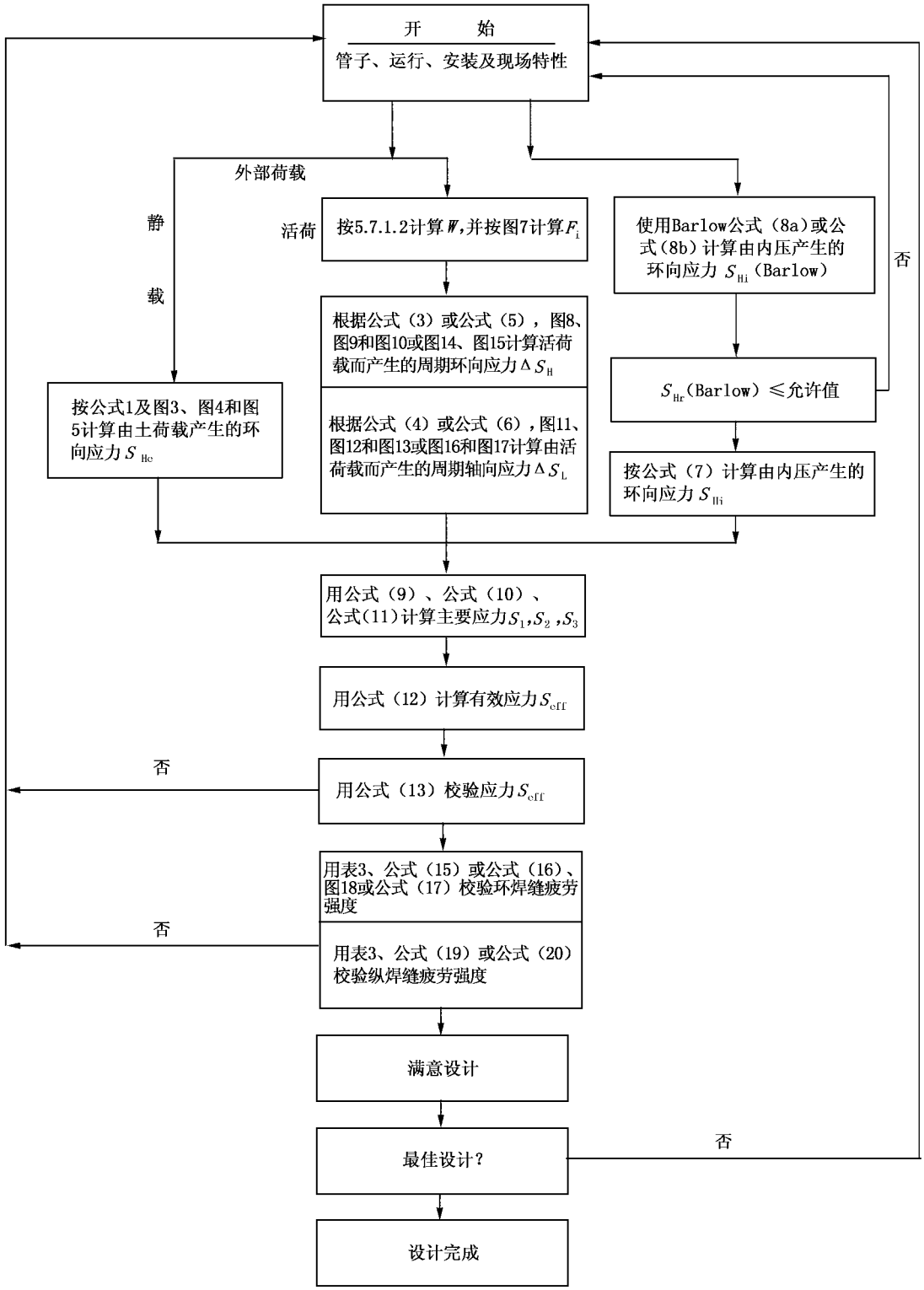


图 2　无套管穿越铁路和公路设计程序流程图

e）**计算由可变荷载引起的周期环向应力** ΔS_H **和周期轴向应力** ΔS_L。

f）**计算由内压引起环向应力** S_{Hi}。

g）**按下列步骤校核有效应力** S_{eff}：

1）**计算主应力：环向应力** S_1；**轴向应力** S_2；**径向应力** S_3。

2）计算有效应力 S_{eff}。

3）对照允许应力（$SMYS \cdot F$），比较 S_{eff}进行校核。

h）校核焊缝疲劳强度：

1）对照环焊缝疲劳极限（$S_{FG} \cdot F$），比较 ΔS_L，校核环焊缝疲劳强度。

2）对照纵焊缝疲劳极限（$S_{FL} \cdot F$），比较 ΔS_H，校核纵焊缝疲劳强度。

i）如果校核不合格，应按上述 a）项修改设计条件，并重复 b）～h）步骤。

应按 5.6～5.8 中阐述的推荐方法，进行上述 b）～h）各步骤计算。在 5.6～5.8 中，给出了对材料特性或几何条件的若干设计曲线图（可用设计曲线之间内插值，不推荐采用设计曲线外推的值）。

5.6 荷载

5.6.1 概述

5.6.1.1 无套管穿越下的输送管将承受由输送压力而产生的内部荷载及由土层压力（静荷载）和火车或公路交通（活荷载）产生的外部荷载。冲击系数应适用于活荷载。计算这些荷载和冲击系数的推荐方法应按下列条款的规定进行。

5.6.1.2 由于季节变化引起的温度波动可能会导致出现其它荷载：由端部效应而产生的纵向张力；与管线操作状况有关的波动；与专用设备有关的异常表面荷载，以及由各种原因引起地层的变形，如土壤收缩和膨胀、冻胀、局部动摇、附近区域爆破及由邻近挖掘引起的管道基础损坏，还包括由于温度变化而产生的管子应力。所有其它荷载都是某种特殊条件所引起的，这类荷载必须根据现场具体情况来评价，因此没有列入本推荐作法范围内[4]。

5.6.2 外部荷载

5.6.2.1 土荷载[5]

土荷载是由于管道上面所覆盖土壤重量所产生并传递至管顶的一种力，按公式（1）计算。

5.6.2.2 活荷载

a）铁路穿越

假定管道承受由单列火车所产生的荷载，火车对每条轨道的作用如图 1 所示，对同时作用于两轨的荷载的计算，应使用周期轴向和周期环向应力的应力提高系数。假设穿越管道与被穿越铁路夹角为 90°，且穿越型式为路堤型穿越，如图 1 所示，这种穿越管道走向一般在新管道施工中优先采用，但其管道应力可能大于斜角穿越铁路管道所承受的应力。

b）公路穿越

假定管线承受由在相邻车道上行驶的两辆汽车所产生的荷载，这两组双轴或单轴荷载成一直线。假定穿越管道与被穿公路夹角为 90°，且穿越型式为路堤型穿越，如图 1 所示。这种穿越管道走向一般在新管道施工中优先采用，但其管道应力可能大于斜角穿越公路所承受的压力。

5.6.3 内部荷载

由内压产生内部荷载。在设计中应使用最大允许操作压力或最大操作压力。

5.7 应力

5.7.1 由外部荷载产生的应力[6]

作用在输送管上的外部荷载既产生环向应力，又产生轴向应力。计算这些应力的每一分量的推荐方法如下。假定所有外部荷载都集中垂直作用于管顶部 90°弧长范围内，其反作用力则垂直分布在管底 90°弧长范围内。

5.7.1.1 由土荷载产生的应力

采用说明：4］原标准 4.6.1.2 条中说明性的内容，根据 GB/T 1.1 的要求，本标准未采用。

5］原标准 4.6.2.1 条说明性内容，根据 GB/T 1.1 的要求，未采用。

6］原标准 4.7.1 条系说明文字，本标准未采用，原标准 4.7.2 条变为本标准 5.7.1 条。

由土荷载产生的管子底部环向应力 S_{He}（kPa）应按下式确定：

$$S_{He} = K_{He} B_e E_e \gamma D \tag{1}$$

式中：K_{He}——土荷载引起的环向应力刚性系数；

B_e——土荷载埋深系数；

E_e——土荷载挖掘系数；

γ——土壤单位质量，kN/m^3；

D——管子外径，m。

除依据现场或实验室数据证明取更高数值外，对大多数土壤类型建议 γ 取值为 18.9kN/m^3；

土荷载刚性系数 K_{He} 说明土壤与管道之间的相互作用，取决于管子壁厚与管子外径的比率 t_w/D 和土壤反作用模量 E'。图 3 所示 K_{He} 为不同 E' 值曲线条件下 t_w/D 的函数。适用于钻孔施工的 E' 取值范围可以为 1.4～13.8MPa。除设计人员认为 E' 取较大值更适合外，建议 E' 取值为 3.4MPa。附录 A（标准的附录）中表 A1 给出了 E' 的常用值。

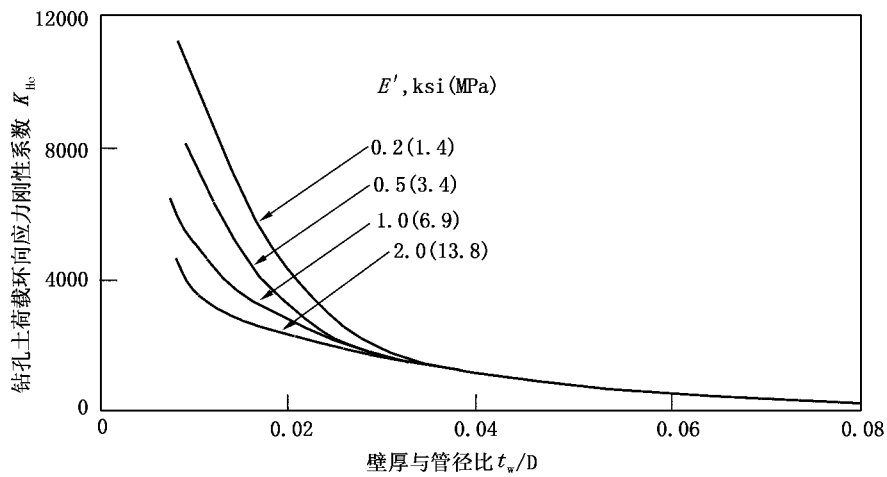


图 3　土荷载环向应力刚性系数 K_{He}

注：土壤说明见附录 A1。

图 4 给出了不同土壤条件下埋深系数 B_e 同管道埋深与钻孔直径之比 H/B_d 之间的函数关系。如果在设计期间，不知道或未确定钻孔直径，建议 B_d 取值为 D + 51mm。对挖沟施工和穿越现有管线上部的新结构，考虑沟内土壤夯实会导致 E' 值高于钻孔施工的 E' 值，可以假定 $B_d = D$。

图 5 中给出了挖掘系数 E_e 同钻孔直径与管道直径之比 B_d/D 的函数关系。如果在设计期间不知道或未确定钻孔直径，应假定 $E_e = 1.0$；对挖沟施工和穿越现有管线上部的新结构，可假定 $E_e = 1.0$。

5.7.1.2　由活荷载产生的应力

a）表面活荷载

铁路外部活荷载是指施加于被穿越铁路表面的车辆荷载 W。除非已知更大荷载，其值一般取 W = 96kPa，它是由在 6.1m×2.4m 面积内均布 4 个 356kN 轴荷得出的。

公路外部动荷载 W，是由作用于公路表面的轮荷载 P 而产生的，对设计来说，只需考虑一种轮组合所产生的荷载。设计轮荷载应是由汽车单轴产生的最大轮荷载 P_s，或是由汽车双轴组合产生的最大轮荷载 P_t。图 6 所示将轴荷载转换为等当量单轮荷载 P_s 和双轮荷载 P_t。例如：一辆汽车，其单轴荷载为 106.8kN，则其设计单轮荷载 P_s 为 53.4kN；若一辆汽车，其双轴荷载为 177.9kN，则其设计双轮荷载 P_t 为 44.5kN。建议最大设计单轮荷载 P_s 为 53.4kN，最大设计双轮荷载 P_t 为 44.5kN。

至于是否确定为单轴还是双轴荷载主要取决于输送管直径 D、埋设深度 H 和路表面情况，即是柔性路面、无铺砌层，还是刚性路面，对于推荐的设计轮荷载 P_s 和 P_t，表 3 给出了其在不同路面类型、埋设深度和管道直径下的主要轴组合情况。

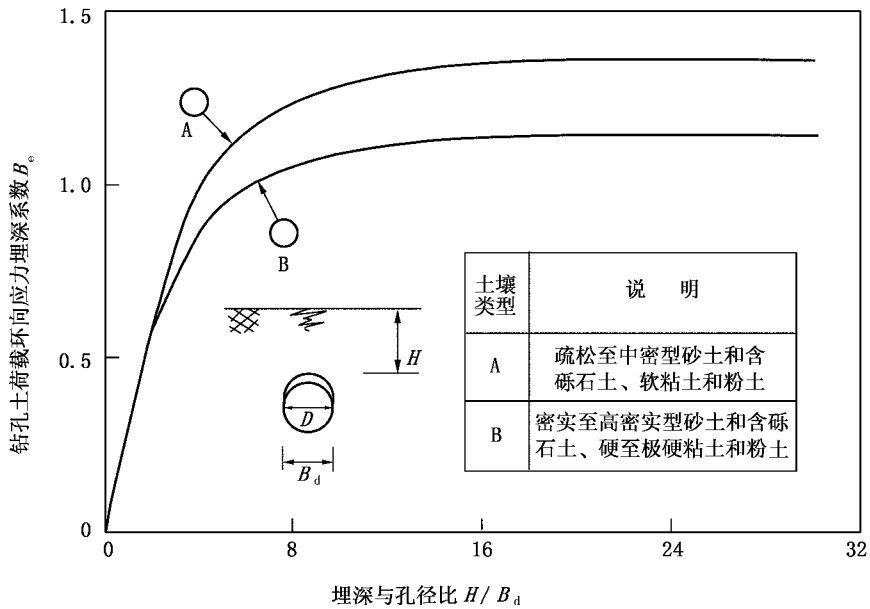


图 4　土荷载环向应力埋深系数 B_e

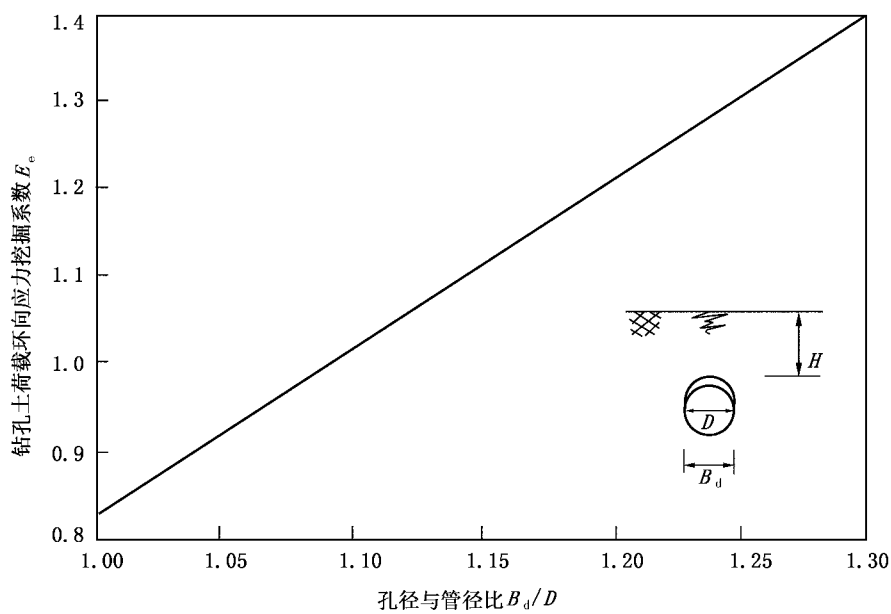


图 5　土荷载环向应力挖掘系数 E_e

外加设计表面压力 W（kPa）应按下式确定：

$$W = P/A_p \tag{2}$$

式中：P——单轮设计荷载 P_s 或双轮设计荷载 P_t，kN；

A_p——轮荷载作用面积，取 $0.093m^2$。

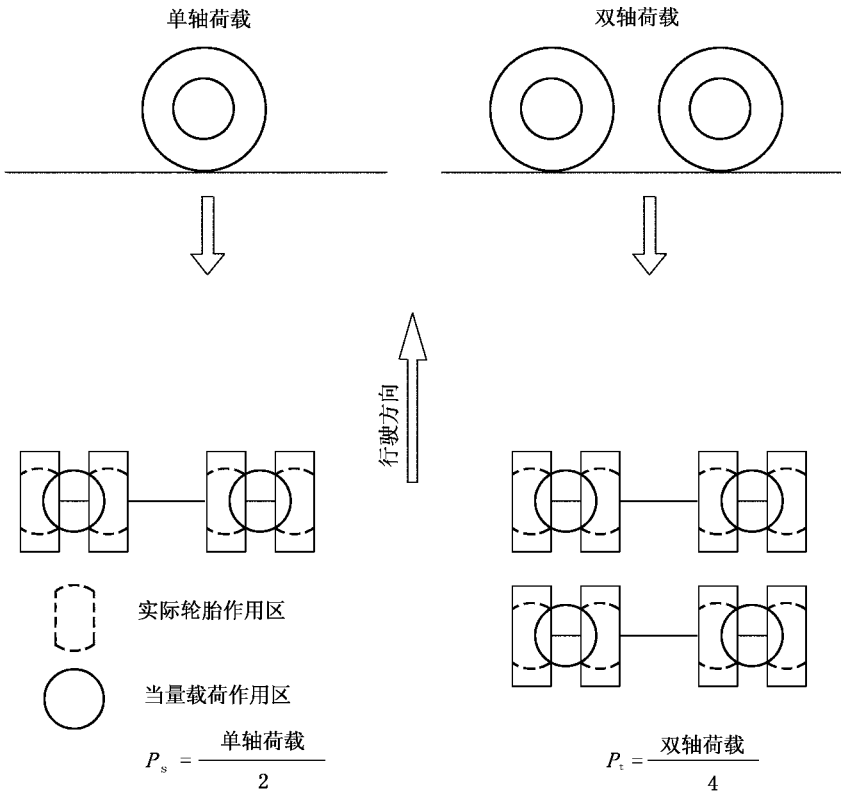


图 6　单轮和双轮荷载，P_s 和 P_t

表 3　设计轮荷载 $P_s = 53.4\text{kN}$ 和 $P_t = 44.5\text{kN}$ 临界轴组合

埋深 $H < 1.2\text{m}$，直径 $D \leqslant 305\text{mm}$	
路 面 类 型	**临界轴组合**
弹性路面	**双轴**
无铺砌路面	**单轴**
刚性路面	**双轴**

埋深 $H < 1.2\text{m}$，直径 $D > 305\text{mm}$； 埋深 $H \geqslant 1.2\text{m}$ 的各种管径	
路 面 类 型	**临界轴组合**
弹性路面	**双轴**
无铺砌路面	**双轴**
刚性路面	**双轴**

推荐的设计荷载 $P_s = 53.4\text{kN}$，$P_t = 44.5\text{kN}$。外加设计表面压力如下：

1）**单轴荷载：** $W = 574\text{kPa}$

2）**双轴荷载：** $W = 479\text{kPa}$

设计轮荷载与推荐的最大值不同时，参见附录 A（标准的附录）。

b）冲击系数

建议用冲击系数增加动荷载。冲击系数是穿越输送管道埋设深度 H 的函数。图 7 所示铁路和公路穿越冲击系数：铁路冲击系数为 1.75，公路冲击系数为 1.5。埋深超过 1.5m 时，每增加 1m 冲击系数降低 0.1，直至冲击系数等于 1.0。

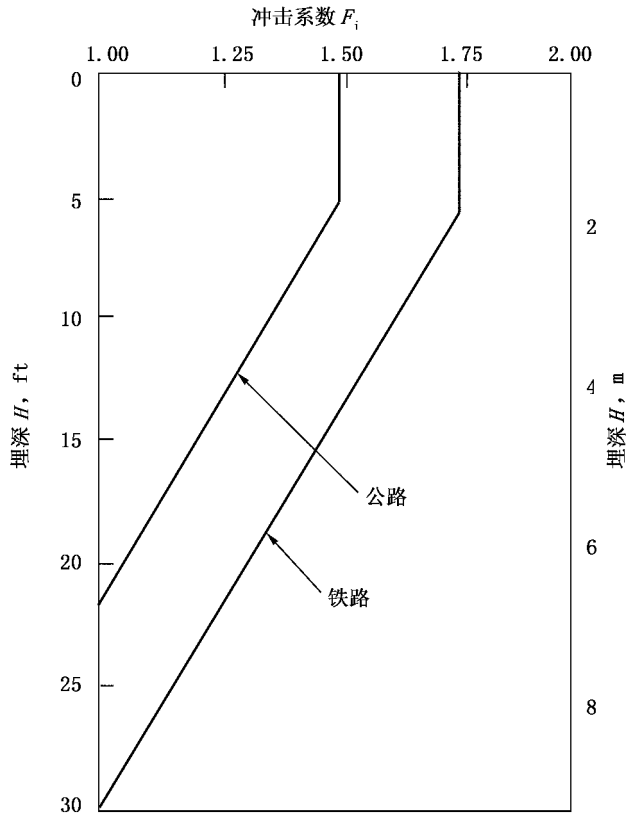


图 7　推荐的冲击系数与埋深关系曲线

c）铁路周期应力

1）由铁路荷载产生的周期环向应力 ΔS_{Hr}（单位：kPa），可按式（3）计算。

$$\Delta S_{Hr} = K_{Hr} G_{Hr} N_H F_i W \tag{3}$$

式中：K_{Hr}——周期环向应力铁路刚性系数；

G_{Hr}——周期环向应力铁路几何系数；

N_H——周期环向应力铁路单或双轨系数；

F_i——冲击系数；

W——外加设计表面压力，kPa。

图 8 给出了铁路刚性系数 K_{Hr}，它是管壁厚与管径之比 t_w/D 和土壤弹性模量 E_r 的函数。附录 A（标准的附录）中表 A2 给出了 E_r 的常用值。

图 9 给出了铁路几何系数 G_{Hr}，它是管径 D 和埋深 H 的函数。

周期环向应力单轨系数 $N_H = 1.00$。图 10 所示为周期环向应力双轨系数 N_H。

2）铁路荷载周期纵向应力 ΔS_{Lr}（单位：kPa），可由式（4）计算。

$$\Delta S_{Lr} = K_{Lr} G_{Lr} N_L F_i W \tag{4}$$

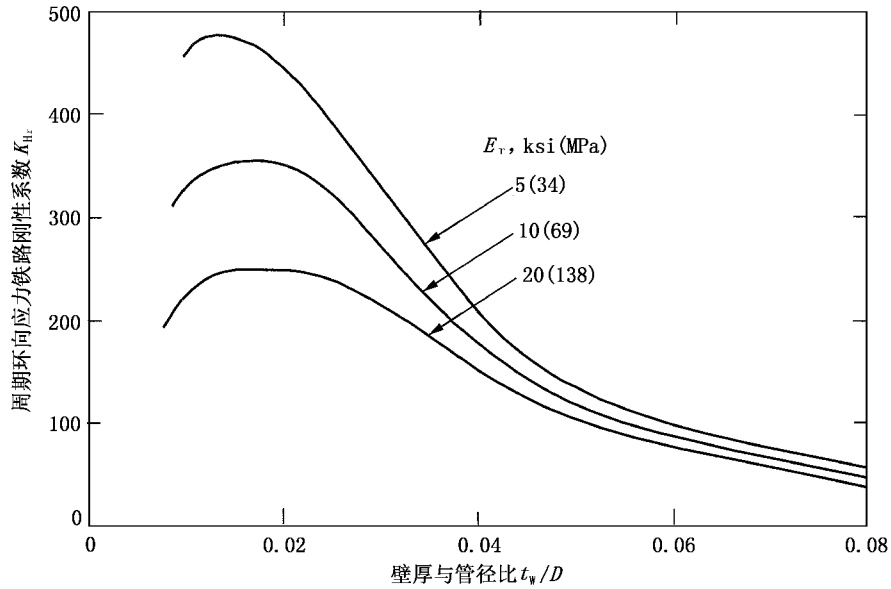


图 8　周期环向应力铁路刚性系数 K_{Hr}

注：土壤说明见 A2。

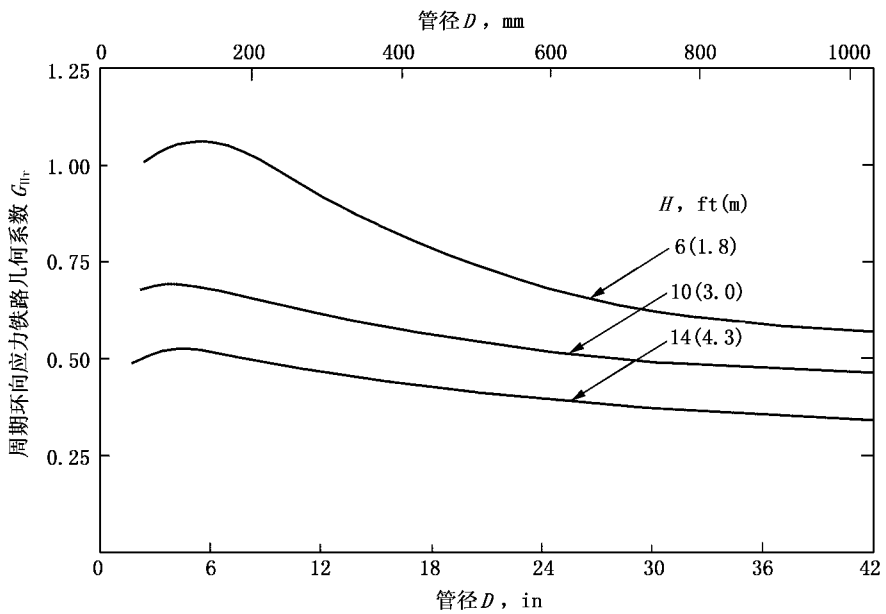


图 9　周期环向应力铁路几何系数 G_{Hr}

式中：K_{Lr}——周期轴向应力铁路刚性系数；

G_{Lr}——**周期轴向应力铁路几何系数；**

N_L——**周期轴向应力铁路单轨或双轨系数；**

F_i——**冲击系数；**

W——**外加设计表面压力，**kPa。

图 11 给出了铁路刚性系数 K_{Lr}，它是 t_w/D 和 E_r 的函数。

图 12 给出了铁路几何系数 G_{Lr}，它是 D 和 H 的函数。

周期纵向应力单轨系数 $N_L=1.00$，图 13 所示为周期轴向应力双轨系数 N_L。

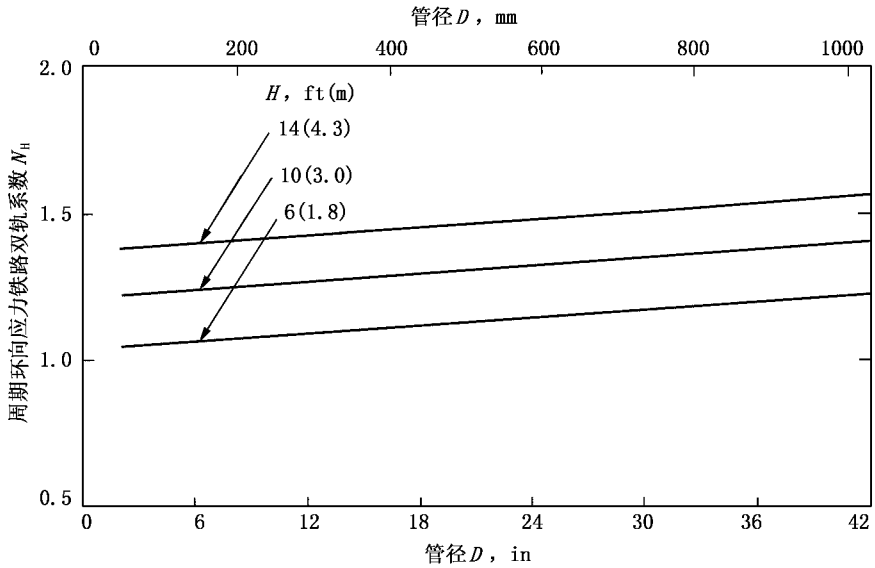


图 10　周期环向应力铁路双轨系数 N_H

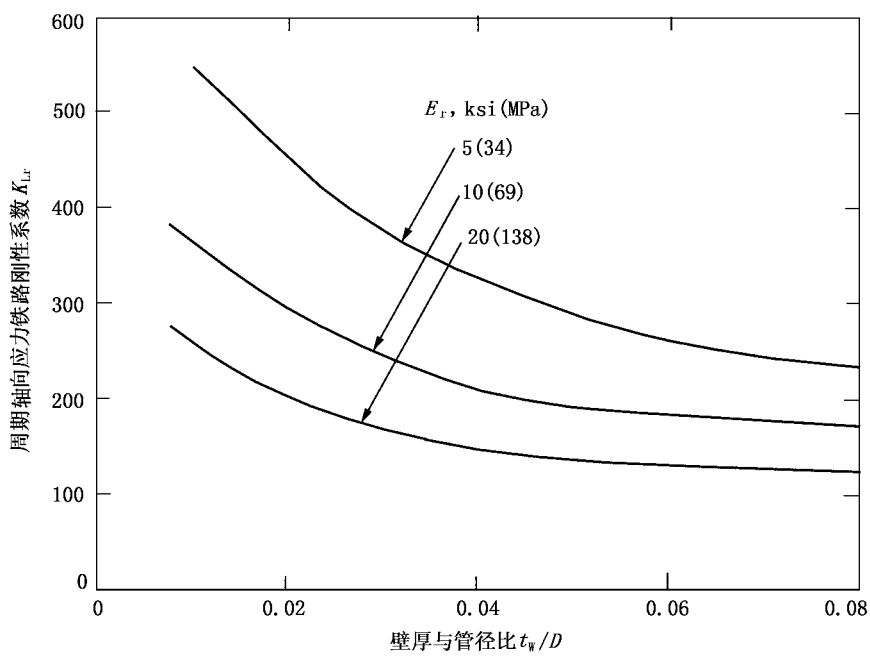


图 11　周期轴向应力铁路刚性系数 K_{Lr}

注：土壤说明见 A2。

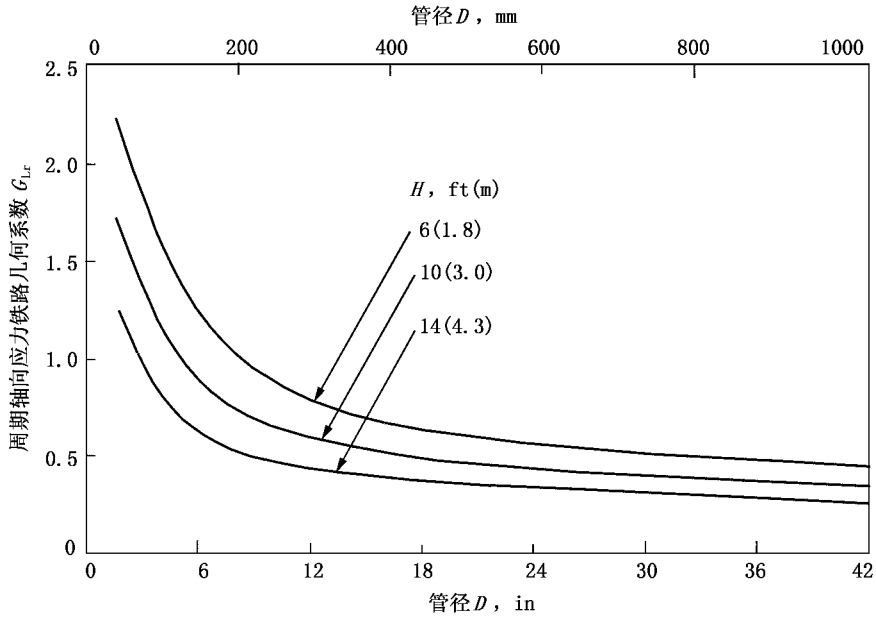


图 12　周期轴向应力铁路几何系数 G_{Lr}

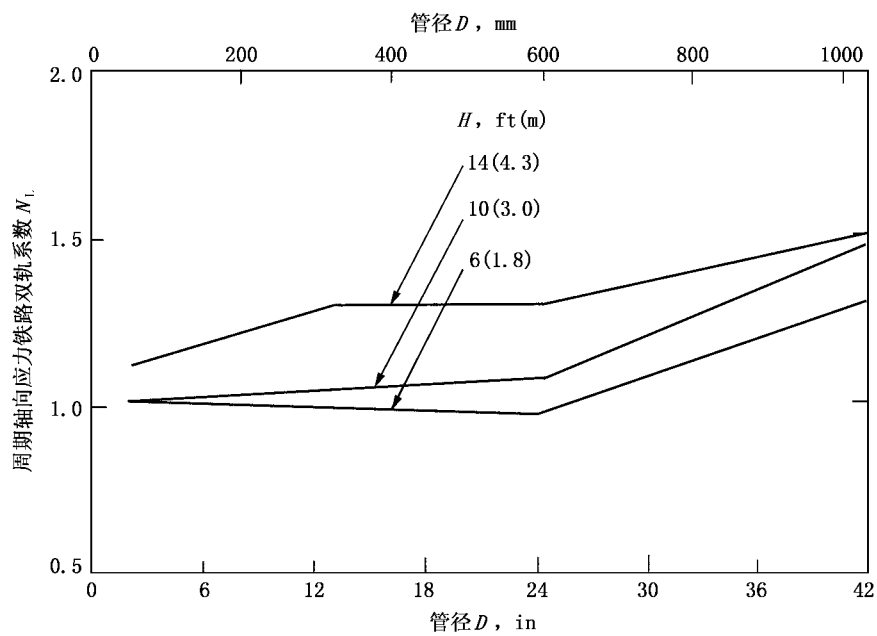


图 13　周期轴向应力铁路双轨系数 N_L

d）**公路周期应力**

1）**由公路车辆荷载产生的周期环向应力 ΔS_{Hh}（单位：kPa），可按式（5）计算。**

$$\Delta S_{Hh} = K_{Hh} G_{Hh} R L F_i W \tag{5}$$

式中： K_{Hh}**——周期环向应力公路刚性系数；**

G_{Hh}**——周期环向应力公路几何系数；**

R**——公路路面类型系数；**

L**——公路轴组合系数；**

F_i**——冲击系数；**

W——外加设计表面压力，kPa。

公路路面类型系数 R 和轴组合系数 L，取决于埋深 H、管道直径 D 和设计轴组合（单轴或双轴）。5.7.1.2 条的 a）项中规定了如何确定设计轴组合；表 4 给出了不同 H、D、路面类型和轴组合所对应的 R 和 L 值。

表 4　公路路面类型系数 R 和轴组合系数 L

埋深 $H<1.2$m，直径 $D\leqslant 305$mm			
路面类型	设计轴组合	R	L
弹性路面	双轴 单轴	1.00 1.00	1.00 0.75
无铺砌路面	双轴 单轴	1.10 1.20	1.00 0.80
刚性路面	双轴 单轴	0.90 0.90	1.00 0.65
埋深 $H<1.2$m，直径 $D>305$mm； 埋深 $H\geqslant 1.2$m 的各种管径			
路面类型	设计轴组合	R	L
弹性路面	双轴 单轴	1.00 1.00	1.00 0.65
无铺砌路面	双轴 单轴	1.10 1.10	1.0 0.65
刚性路面	双轴 单轴	0.90 0.90	1.00 0.65

图 14 给出了公路刚性系数 K_{Hh}，它是 t_w/D 和 E_r 的函数。

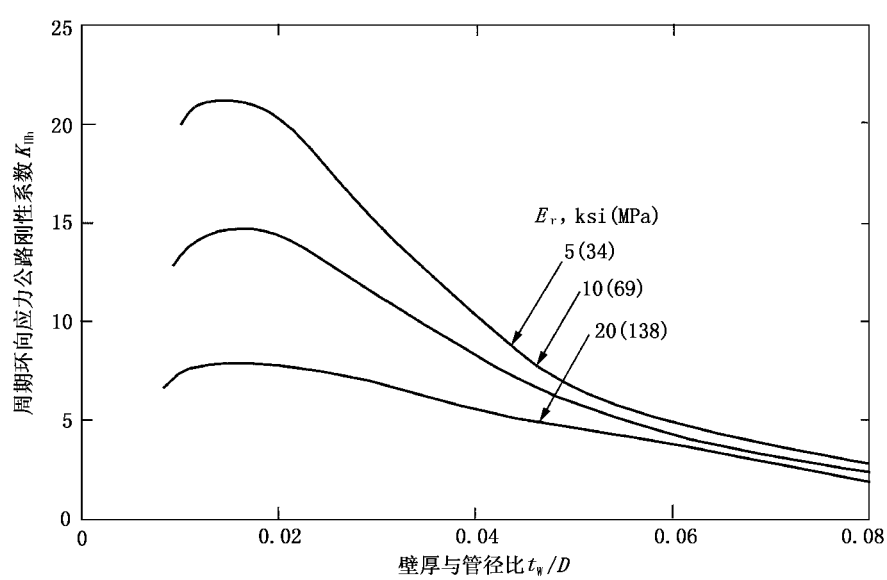


图 14　周期环向应力公路刚性系数 K_{Hh}

注：土壤说明见 A2。

图 15 给出了公路几何系数 G_{Hh}，它是 D 和 H 的函数。

2）由公路车辆荷载产生的周期轴向应力 ΔS_{Lh}（单位：kPa）可按式（6）计算。

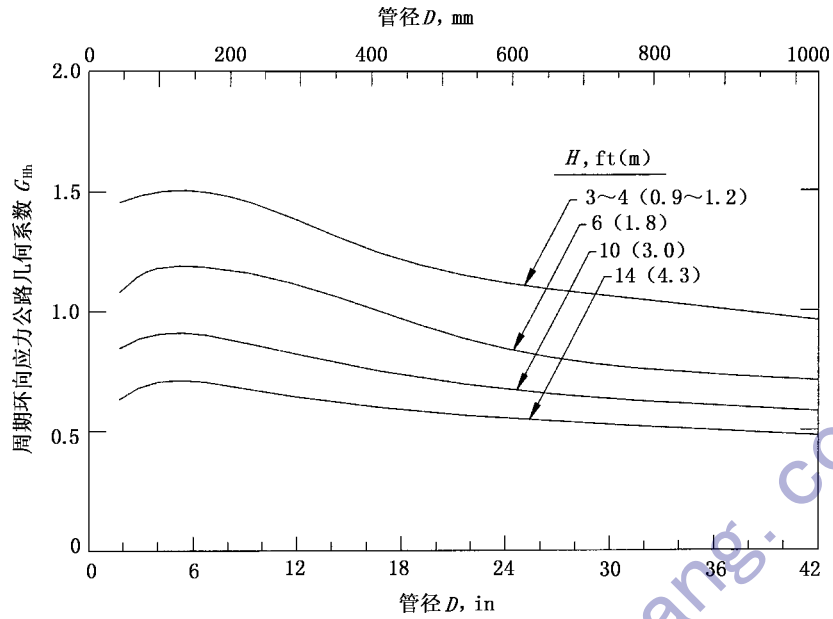


图 15　周期环向应力公路几何系数 G_{Hh}

$$\Delta S_{Lh} = K_{Lh} G_{Lh} R L F_i W \tag{6}$$

式中： K_{Lh}**——周期轴向应力公路刚性系数；**

G_{Lh}**——周期轴向应力公路几何系数；**

R**——公路路面类型系数；**

L**——公路轴组合系数；**

F_i**——冲击系数；**

W**——外加设计表面压力，**kPa。

表 4 **中同样给出了路面类型系数** R **和轴组合系数** L。

图 16 **给出了公路刚性系数** K_{LH}**，它是** t_W/D **和** E_r **的函数。**

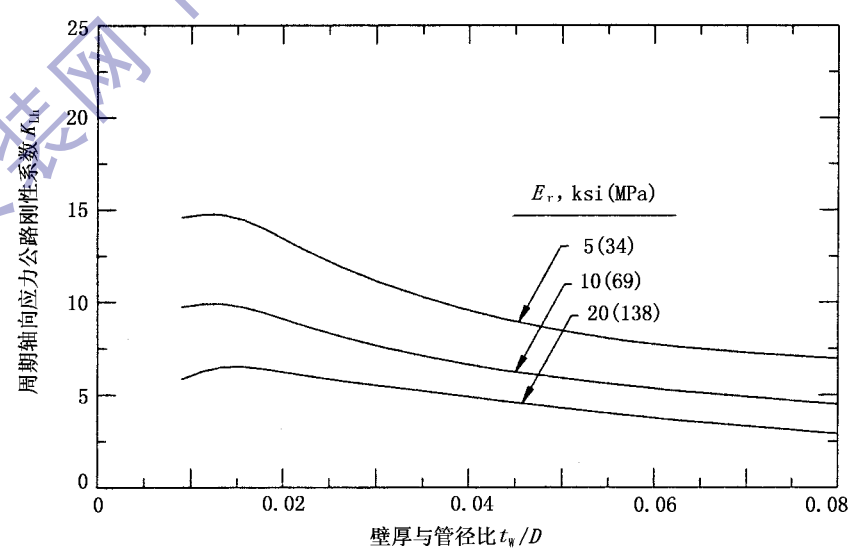


图 16　周期轴向应力公路刚性系数 K_{Lh}

注：土壤说明见 A2。

安装网 http://www.azwang.com

图 17 给出了公路几何系数 G_{LH}，它是 D 和 H 的函数。

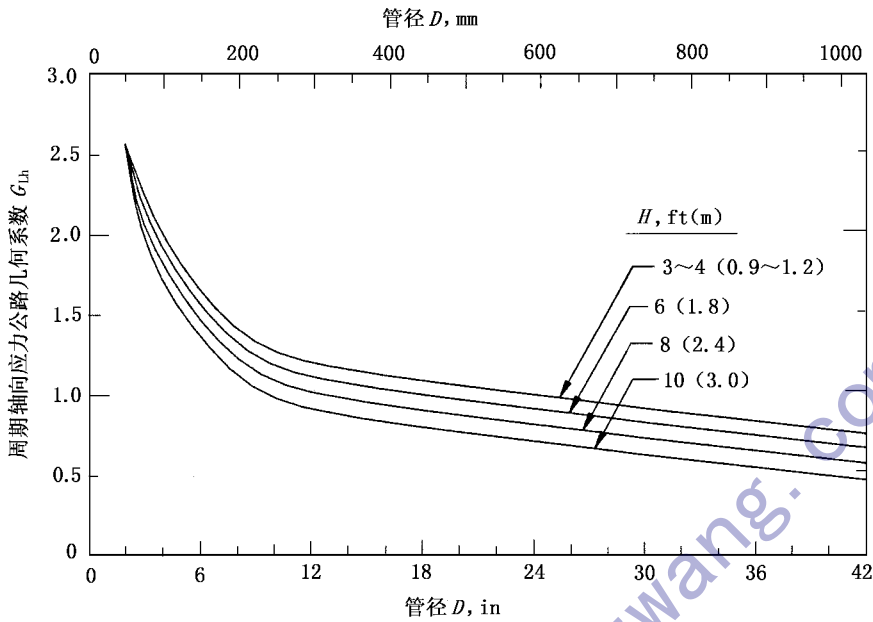


图 17　周期轴向应力公路几何系数 G_{Lh}

5.7.2　由内部荷载产生的应力

由内压产生的环向应力 S_{Hi}（单位：kPa）可按下式计算：

$$S_{Hi} = p(D - t_w)/2t_w \tag{7}$$

式中：p——内压，取 $MAOP$ 或 MOP，kPa；

D——管外径，mm；

t_w——壁厚，mm。

5.8　计算应力极限

按 5.7 的规定计算的应力不应超过一定的允许值。以下条款规定了控制管道屈服和疲劳的许用应力。

5.8.1　需要进行的两项许用应力校核

5.8.1.1　由于内部压力而产生的环向应力，该项校核应按式（8a）和式（8b）进行：必须小于规定最小屈服强度与设计系数的乘积。

输送介质为天然气的管道：

$$[S_{Hi}(\text{Barlow}) = pD/2t_w] \leqslant F \cdot E \cdot T \cdot SMYS \tag{8a}$$

输送介质为液体或其它油品的管道：

$$[S_{Hi}(\text{Barlow}) = pD/2t_w] \leqslant F \cdot E \cdot SMYS \tag{8b}$$

式中：p——内压，其值为 $MAOP$ 或 MOP，kPa；

D——管外径，mm；

t_w——壁厚，mm；

F——设计系数，其取值为 0.4～0.72[7]；

采用说明：7] 原标准 F 取值按第 49 号《联邦法规规范》确定，本标准改为按 GB 50251 和 GB 50253 的规定确定。

安装网 http://www.azwang.com

E——纵向焊缝系数；

T——温度折减系数；

$SMYS$——规定最小屈服强度，kPa。

5.8.1.2 总有效应力 S_{eff}（单位：kPa）应小于或等于规定的最小屈服强度与设计系数 F 的乘积。主应力 S_1、S_2 和 S_3（单位：kPa）用于计算 S_{eff}，主应力应分别按式（9）、式（10）、式（11）计算。

$$S_1 = S_{He} + \Delta S_H + S_{Hi} \tag{9}$$

式中：S_1——最大环向应力；

ΔS_H——铁路应为 ΔS_{Hr}，kPa；公路应为 ΔS_{Hh}，kPa。

$$S_2 = \Delta S_L - E_s\alpha_T(T_1 - T_2) + \nu_s(S_{He} + S_{Hi}) \tag{10}$$

式中：S_2——最大轴向应力；

ΔS_L——铁路应为 ΔS_{Lr}，kPa；公路应为 ΔS_{LH}，kPa；

E_s——钢杨氏模量，kPa；

α_T——钢热膨胀系数，$℃^{-1}$；

T_1——安装时温度，℃；

T_2——最大或最小操作温度，℃；

ν_s——钢泊松比。

注 1：附录 A（标准的附录）中表 A3 给出 E_s、ν_s 和 α_T 的常用值。

$$S_3 = -P = -MAOP \text{ 或 } -MOP \tag{11}$$

式中：S_3——最大径向应力。

注 2：由 S_{He}和 S_{Hi}产生的泊松效应在 S_2 计算公式中已反映出来，即 ν_s（$S_{He} + S_{Hi}$）。S_1 中 ΔS_L 的泊松效应在公式 S_1 中没有直接显示出来。本推荐作法中的 ΔS_H 和 ΔS_L 的值来源于有限元素的分析，因此它们已包含相应的泊松效应。

总有效应力 S_{eff}（单位：kPa）可按式（12）计算。

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}[(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]} \tag{12}$$

管线屈服校核应按式（13）完成，即保证总有效应力小于规定最小屈服强度与设计系数的乘积。

$$S_{eff} \leqslant SMYS \cdot F \tag{13}$$

式中：$SMYS$——规定最小屈服强度，kPa；

F——设计系数。

设计人员应使用与标准作法或规范要求相一致的设计系数值 F。

5.8.2 疲劳校核

疲劳校核是将垂直于管线焊缝的应力分量与该应力许用值（疲劳极限）进行比较，这些极限值是根据 S——N 数据（疲劳强度与荷载循环数的对比）和 API Spec 5L 规定的最小抗拉极限强度确定的。

5.8.2.1 环焊缝

必须校核铁路或公路下的穿越管道焊缝由于活荷载的周期纵向应力产生的潜在疲劳。设计校核则通过保证动荷载周期轴向应力小于疲劳极限与设计系数 F 的乘积来完成。表 5 所示，所有钢级及焊缝类型疲劳极限取值为 82740kPa。

安装网 http://www.azwang.com

环焊缝的设计疲劳校核一般按下式进行：

$$\Delta S_L \leqslant S_{FG} \cdot F \tag{14}$$

式中：ΔS_L——铁路为 ΔS_{Lr}，kPa；公路为 ΔS_{Lh}，kPa；

S_{FG}——环焊缝疲劳极限，其值为 82740kPa；

F——设计系数。

表 5　不同钢级焊缝疲劳极限 S_{FG} 和 S_{FL}

钢　级	最小屈服强度 kPa	最小抗拉强度 kPa	S_{FG} kPa	S_{FL} kPa	
			所有类型焊缝	无缝和电阻焊缝	埋弧焊缝
A25	172375	310275	82740	144795	82740
A	206850	330960	82740	144795	82740
B	241325	413700	82740	144795	82740
X42	289590	413700	82740	144795	82740
X46	317170	434385	82740	144795	82740
X52	358540	455070	82740	144795	82740
X56	386120	489545	82740	158585	82740
X60	413700	517125	82740	158585	82740
X65	448175	530915	82740	158585	82740
X70	482650	565390	82740	172375	89635
X80	551600	620550	82740	186165	96530

a）铁路穿越

公式（14）是环焊缝疲劳校核的通用形式，由于 ΔS_L（即 ΔS_{Lr}）的值受所选择的穿越铁路是单轨还是双轨的影响，在疲劳校核中必须考虑这种影响。如果假定所有外加周期荷载都是通过双轨同时加载而产生，且火车轮组总是同时位于穿越段正上方，这有些过于保守。因此，铁路穿越环焊缝疲劳校核所使用的周期轴向应力是以单轨加载条件下所产生的活荷载应力为基础的。由此得出下列公式：

$$\Delta S_{Lr} / N_L \leqslant S_{FG} \cdot F \tag{15}$$

式中：ΔS_{Lr}——由公式（4）所确定的周期轴向应力，kPa；

N_L——公式（4）中所采用的单轨或双轨系数（见注）；

S_{FG}——环焊缝疲劳极限，其值为 82740kPa；

F——设计系数。

注：$N_L = 1.00$（穿越单轨）。

公式（15）适用于铁路穿越，其中环焊缝距轨道中心线距离 L_G 小于 1.5m。对于其它位置的环焊缝的疲劳校核应采用下列公式：

$$R_F \Delta S_{Lr} / N_L \leqslant S_{FG} \cdot F \tag{16}$$

式中：R_F——轴向疲劳应力折减系数。

R_F 值可以从图 18－A 和 18－B 查得。图 18－A 适用于 L_G 大于或等于 1.5m，但小于 3m 条件下 R_F 值的确定；图 18－B 则适用于 L_G 大于或等于 3m 条件下 R_F 值的确定。

b）公路穿越

安装网 http://www.azwang.com

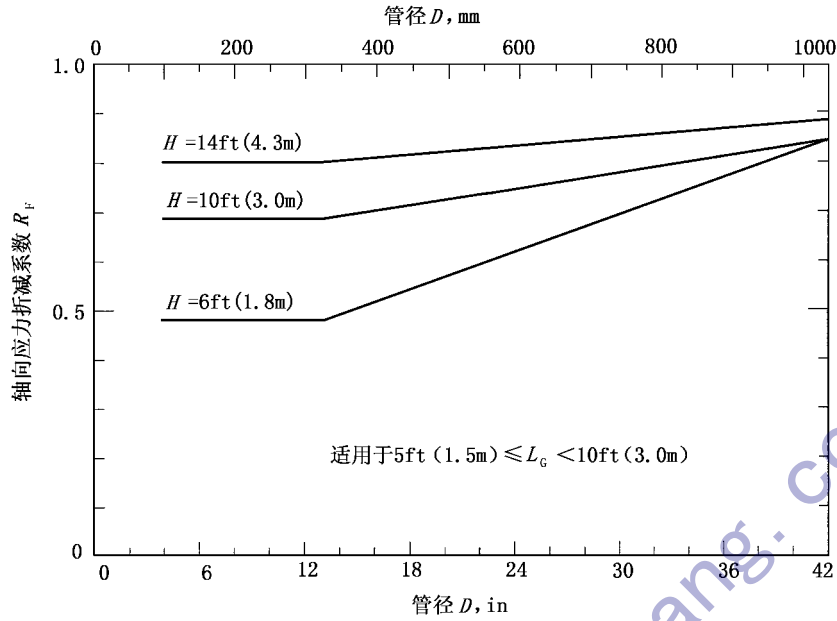


图 18－A　轴向应力折减系数 R_F（适用于 1.5≤L_G<3.0m）

注：L_G—铁路中心与最近环焊缝之间距。

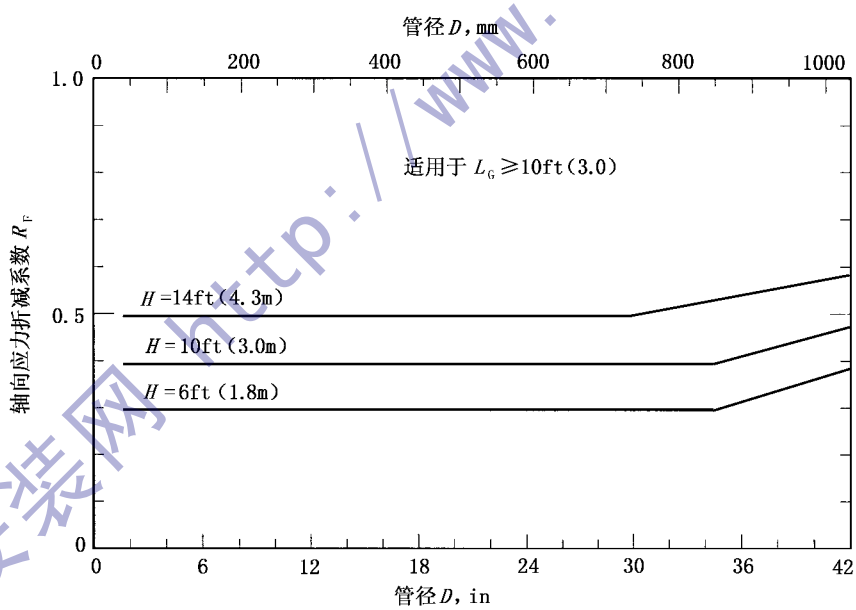


图 18－B　轴向应力折减系数 R_F（适用于 L_G≥3.0m）

注：L_G—铁路中心与最近环焊缝之间距。

由于在设计曲线中已经考虑了相邻车辆荷载，因此在公路穿越的疲劳校核中不采用环焊缝位置的轴向应力折减系数，也不采用双车道系数。公路穿越周期轴向应力由公式（6）确定。环焊缝疲劳校核按下式进行：

$$\Delta S_{Lh} \leqslant S_{FG} \cdot F \tag{17}$$

5.8.2.2　纵焊缝

a）**必须校核铁路或公路下的穿越管道的纵焊缝，由于其活荷载周期环向应力产生的潜在疲劳。**

安装网 http://www.azwang.com

校核可以通过保证活荷载周期环向应力小于疲劳极限与设计系数 F 的乘积来完成。

纵焊缝的疲劳极限 S_{FL}，取决于焊缝类型和最小抗拉极限强度。表 5 给出了各种不同钢级钢材的无缝管、电阻焊以及埋弧焊管的纵焊缝的疲劳极限值。对于给定 $SMYS$ 值应选用表 5 中小于且最接近的 $SMYS$ 值对应的疲劳极限值。如 $SMYS=372$MPa，则应选用钢级为 X52 所对应的疲劳极限值。

对照纵焊缝疲劳极限所进行的设计校核通用公式如下：

$$\Delta S_H \leqslant S_{FL} \cdot F \tag{18}$$

式中：ΔS_H——铁路为 ΔS_{Hr}，kPa；公路为 ΔS_{Hh}，kPa；

S_{FL}——从表 5 中查出的纵焊缝疲劳极限，kPa；

F——设计系数。

b）铁路穿越：公式（18）是纵焊缝疲劳校核的通用公式，正如 5.8.2.1a）中的所述的铁路穿越环焊缝疲劳校核一样，如采用双轨周期应力考虑疲劳问题，则过于保守。因此，铁路穿越的纵焊缝疲劳校核采用单轨可变荷载应力的周期环向应力。由此得出公式如下：

$$\Delta S_{Hr}/N_H \leqslant S_{FL} \cdot F \tag{19}$$

式中：ΔS_{Hr}——由公式（3）所确定的周期环向应力，kPa；

N_H——单轨或双轨系数（见注）；

S_{FL}——从表 5 中查出的纵焊缝疲劳极限，kPa；

F——设计系数。

注：$N_H=1.00$（单轨穿越）。

c）公路穿越：公路穿越周期环向应力应用公式（5）确定。纵焊缝疲劳校核按下式进行：

$$\Delta S_{Hh} \leqslant S_{FL} \cdot F \tag{20}$$

由于设计曲线已考虑相邻车辆荷载，因此在公路疲劳校核中不采用双车道系数。表 5 给出了纵焊缝疲劳极限。

5.9 穿越铁路和公路管道纵焊缝的方位

在本推荐作法中，纵焊缝疲劳极限设计校核以周期环向应力 ΔS_H 最大值为依据。如果该项设计校核满足要求，那么将纵焊缝放在任何位置均可以接受。但是在施工中考虑管道纵焊缝的周向方位是有利的。所有纵焊缝的最佳位置应是（以管顶部为零度计算）45°、135°、225°或 315°。对上述任一方位，用公式（3）和公式（5）将预测出周期环向应力的保守值，因此所列的这些最佳焊缝位置为防止纵焊缝疲劳提供了一个附加安全裕量。

5.10 穿越铁路的管道环焊缝位置

穿越铁路管道环焊缝的最佳位置是在单轨穿越条件下，环焊缝离轨道中心线距离 L_G 至少应为 3m。正如 5.8.2.1a）所述，在这种条件下，外加周期轴向应力大大减小。当评价双轨或双轨以上相邻轨道下的穿越管道时，进行疲劳校核不考虑折减系数。与公路穿越有关的疲劳校核不考虑折减系数，因为公路车辆通行位置不定，不可能确定环焊缝的位置以求最小周期荷载影响。

6 套管穿越

6.1 安装在套管中的输送管

采用套管穿越的输送管应符合现行 GB/T 9711.1，或 ASME B31.4 或 ASME B31.8 规定的材料和设计要求[8]。

采用说明：8] 原标准 5.1 条中说明性内容，本标准未采用。根据国内实际情况，增加了套管穿越的输送管应符合 GB/T 9711.1 的要求。

安装网 http://www.azwang.com

6.2 穿越用套管

适用于做套管（包括纵向拼合套管）的材料包括新的或用过的管子，轧钢厂中不合格的管子或其它可用的钢质管材。套管可以是裸管或带涂层。

6.3 套管的最小内径

套管的内径应足够大，以便安装输送管，为维持阴极保护提供适当的绝缘以及防止外部荷载从套管传递到输送管上。套管的公称直径至少应比输送管公称直径大二级。

6.4 壁厚

6.4.1 钻孔穿越

钻孔穿越用钢套管的最小公称壁厚应大于或等于附录 C（标准的附录）中所列数值。

6.4.2 开挖穿越

如果开槽或开挖管沟穿越能满足 6.7 的要求，可使用附录 C（标准的附录）表中所列钻孔穿越钢套管的最小公称壁厚。如果不能满足 6.7 的要求，应采取增加套管埋深，提高套管壁厚、稳定回填或采用其它可行的方法。

6.5 一般要求

6.5.1 套管内应无堵塞物，尽可能取直，并在穿越的整个长度内应有相同的垫层。

6.5.2 采用钻孔安装套管，其钻孔孔径过盈量应尽量小，以减少套管与周围土壤之间的空隙。

6.5.3 钢质套管应完全连接，以确保穿越段输送管从头至尾得到连续的保护。

6.6 定位与对中

6.6.1 在安装套管的地方，套管端部应超出坡脚或路基至少 0.6m，或超出排水沟底部边缘至少 0.9m，取两者中的较大值（见图 19）。

6.6.2 被穿越的铁路或公路与穿越管道之间的夹角应尽可能接近 90°，但在任何情况下应不小于 30°。

6.6.3 应尽可能避免在潮湿或岩石地带和需要深挖处穿越。

6.6.4 管线与其周围构筑物或设施之间的垂直和水平净距必须满足管线和构筑物或设施维护的要求。

6.7 覆盖层

6.7.1 铁路穿越

铁路下的套管应按规定的最小覆盖层安装，其最小覆盖层（从套管顶至铁路路基表面之间的距离）应符合表 6 的要求（见图 19）。

表 6 铁路穿越最小覆盖层

位　置	最小覆盖层 m
a）轨枕下（次要的铁路线或工业专线除外）	1.7
b）次要的铁路线和工业专用铁路轨枕下	1.4
c）在铁路界限范围内的其它所有表面下或排水沟底下	0.9
d）输送易挥发性液体的管线	1.2

6.7.2 公路穿越

公路下的套管应按规定的最小覆盖层安装，其最小覆盖层（从套管顶至路面的距离）应符合表 7 的要求（见图 19）。

6.7.3 加强保护

如果不能提供 6.7.1 和 6.7.2 所规定的最小覆盖层，则应采取加强保护措施。

安装网 http://www.azwang.com

表 7　公路穿越最小覆盖层

位　　置	最小覆盖层 m
a）公路路面层下	1.2
b）在公路界限范围内的其它所有表面下	0.9
c）输送易挥发性液体的管线	1.2

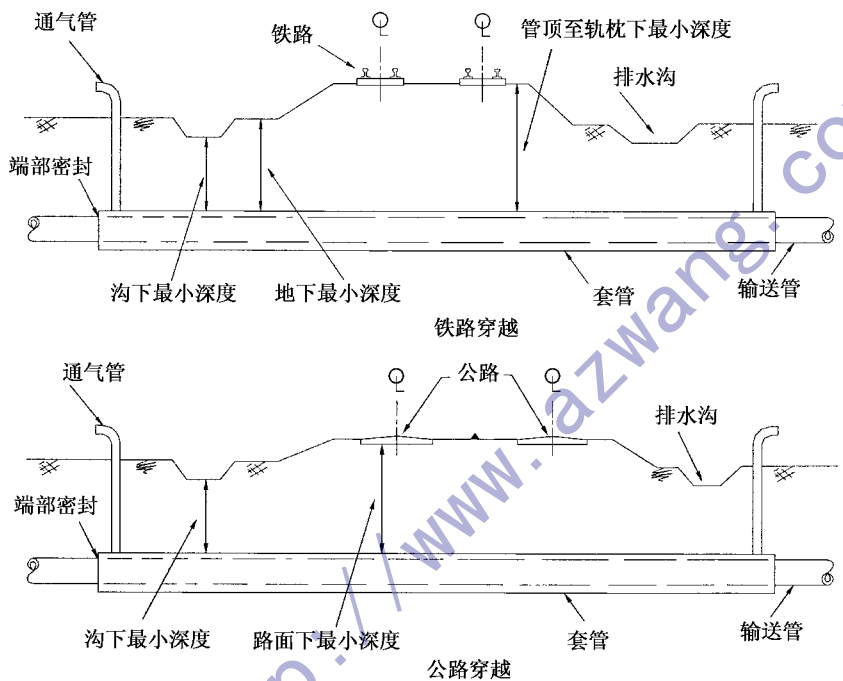


图 19　套管穿越敷设举例

6.8　安装

6.8.1　安装在套管中的输送管应设计适当的支撑、绝缘体或其它方法使其与套管不接触，并使其安装后无外部荷载传递到输送管上。也可采用涂层和外部缠绕带累积成环的方法或用混凝土夹套的方法来完成。当使用预制绝缘体时，绝缘体应均匀布置，并牢固地固定在输送管上。

6.8.2　在遇到施工场地限制，结构上有困难或者特殊需要的场合，多根输送管可装入一根套管中。其安装应符合上述各项规定并应使输送管与输送管之间，以及输送管与套管之间相互绝缘。

6.9　套管的密封

套管的两端应进行端部密封，以减少水和周围土壤颗粒的侵入。应该认识到，在现场条件下不可能完全达到水密封，应当预见水的渗入。套管的两端应用柔性材料密封，以防通过套管形成水道。

6.10　套管通气管

6.10.1　套管上不要求安装通气管。

6.10.2　如使用通气管，应安装 1 或 2 根通气管，其通气管管径应不小于 51mm，通气管应焊接到套管上，并应在路界线或栅栏处伸出地面（见图 19）。在将套管通气管焊在套管上之前，必须先在套管上开孔，其孔径应不小于通气管直径的二分之一。

6.10.3　通气管伸出地面长度应不小于 1.2m。通气管顶部应安装适当的防雨帽。

6.10.4　为便于用“套管填充物”填充套管，可安装两根通气管，其安装位置为：将套管低端的通气管安装在套管底部，套管高端的通气管安装在套管顶部。

安装网 http://www.azwang.com

6.11 绝缘体

通过设置环形绝缘体，使套管与输送管不直接接触，达到电绝缘。绝缘体的设计应使其与输送管涂层之间支承压力最小。

6.12 检查与试验

在穿越施工期间应有监督和检查。安装前应先对输送管的穿越段进行外观缺陷检查，所有环焊缝都应进行 X 射线或其它无损方法检查。套管穿越安装之后，应进行试验以确认输送管与套管之间的电绝缘。

7 安装

7.1 无沟安装

7.1.1 概述

在穿越铁路和公路安装管线作法中，顶管法是一主要的方法。此外还有冲击挖掘法，但此法通常仅限于直径小于 150mm 的小管径管道。对于无沟安装施工方法，由于其挖掘的孔径要大于穿越管道的直径，因此在施工前，需事先得知或规定要钻的孔径 B_d。利用图 5，设计者能够考虑钻孔孔径 B_d 的大小对传递到管子上的土荷载的影响。当调整钻头使其钻出的孔径等于管径时，或采用冲击挖掘或类似的插入式施工方法时，设计者应假定孔径等于管径，即 $B_d = D$。

7.1.2 钻孔、顶管或凿隧洞

7.1.2.1 管道穿越钻孔通常用钻头进行，钻头在套管之前，钻头直径比管径大，其值不大于 51mm。若改进上述方法，比如缩小钻头尺寸，并在管子或套管前端焊上加强环，以利管子跟进，能大大减少超挖量。过量挖掘的降低将减少对周围土壤及其上面设施的干扰，同时也能降低管道的土荷载。但是，应该认识到，降低过量挖掘通常将会增加管道前进的摩擦力和粘附力。因此，有必要在具有适当端部承载墙的发送坑内使用轨道式设备，以提供足够的顶进力。对于长距离或敏感区穿越使用膨润土水泥浆润滑被顶管道可能有助于穿越施工。

7.1.2.2 下列条款适用于钻孔、顶管或凿隧洞穿越：

a）钻孔或顶管安装，其孔径不应超过输送管（包括涂层）外径 51mm。在隧洞安装中，隧洞与输送管外壁之间的环形空间应保持最小。

b）在土壤处于不稳定状态的场所，钻孔、顶管或凿隧洞的穿越施工，应以无损于被穿越设施的方式进行。

c）如果形成的孔太大，或者钻孔、顶管或隧洞必须废弃时，应采取迅速的补救措施，以此为被穿越的设施提供足够的支承。

7.1.3 开挖作业坑

从一个作业坑（发送坑）将管子顶到另一作业坑（接收坑）。发送坑和接收坑的开挖和支撑设置应按适用的规定进行，以保证施工人员的安全，同时保护邻近铁路或公路。

7.1.4 回填

应将发送坑和接收坑内输送管下的回填土仔细回填并夯实，这将有助于减少即将穿越两端输送管的下沉，同时也将降低输送管进入回填后的发送坑和接收坑内时的弯曲应力。良好的回填作法应包括（但不限于）将输送管下的松动土去除，然后充分回填夯实并略高，使输送管垫层密实。回填前，应使用土袋或砂袋或其它适当的方法把穿越段两侧输送管牢固地支承住。那些易遭受生物侵袭的支承材料，如木枕，可能会分解并易产生局部腐蚀，应避免使用。

7.2 开挖安装

7.2.1 一般条件

7.2.1.1 整个开挖穿越工作（从挖沟到地貌恢复），应按交通运输中断时间最短来计划。

7.2.1.2 在开挖施工时，应按照有关职业安全和卫生规范的要求对管沟设置边坡。管子应铺设在管

沟中心处，以使管子与管沟两侧的净距相等。

7.2.1.3 沟底应平整，在整个穿越长度内，管道应有均匀的垫层。

7.2.2 管沟回填

回填应充分夯实，以防止被穿越设施沉陷损害。回填应分层进行，每层厚度不大于 305mm（指未夯实厚度）。并应将管子上方及周围土壤彻底夯实，使其与周围土壤的密度相同。用原土回填（或选用代用回填材料）必须能达到要求的密实度。

7.2.3 路面恢复

被开挖的铺砌路面应按照相应的公路或铁路管理机构的规范要求迅速恢复。

7.3 通用要求

下列 7.3.1～7.3.7 所列事项适用于无沟和开挖管道施工（无套管和套管穿越均可）。

7.3.1 施工监理

施工应由有监理管道焊接和管道安装资质（指 7.1 和 7.2 条所述类型）的人员进行监理。工作应协调一致。现场施工监理人员与被穿越铁路或公路的授权代理人之间应保持密切的通讯联系。当穿过铁路和公路运输施工设备时，应采取预防措施。在整个施工期间应自始至终保护铁路和公路设施，同时应维护排水沟以防水淹没或浸蚀路基及邻近设施。

7.3.2 检查与试验

在穿越施工期间，应对管道穿越施工进行检查。安装前，应对穿越段输送管进行外观缺陷检查。

7.3.3 焊接

穿越铁路或公路的输送管应按焊接工艺规程（或焊接作业指导书）进行焊接，焊接工艺规程的制定应符合 SY/T 4103 或 API Std 1104 的规定。所有穿越段或邻近穿越段的管道环焊缝都应按照上述规范的规定进行无损检测。对于无套管穿越，应对距铁路外（或内）轨或公路路面外（或内）侧水平距离在 15m 范围内的环焊缝进行无损检测；对于套管穿越，应对距套管两密封端 15m 范围内的环焊缝进行无损检测。

7.3.4 压力试验

输送管在投产前，应按 SY 0401 的要求进行压力试验。

7.3.5 管标志与记号

应按照 API RP 1109 或 SY/T 6064 设置管道标志与记号。

7.3.6 阴极保护

7.3.6.1 应仔细检查套管穿越的阴极保护系统。套管可能会降低或消除阴极保护的效果。采用套管与普遍采用的无套管穿越相比，其电气系统则更加复杂，可能对确保阴极保护和解释其测量结果有困难。每个套管穿越均应设置阴极保护测试桩，测试引线应焊于输送管和套管上。

7.3.6.2 由于通过焊接在套管上的通气管空气循环和套管环形空间中水分冷凝，使带套管的输送管可能遭受大气的腐蚀。这一问题通过向中填充高绝缘填充物、抗腐剂或惰性气体而可能会得到缓解。这项工作在施工完成后立即进行最为容易。

7.3.7 管道涂层

选择管道涂层应考虑施工技术、管道安装中磨损、碰撞等因素。有很多耐磨且具有良好的抗表面应力性、抗吸水性及抗阴极剥离性的涂层。在保护涂层容易遭到损坏的部位，安装前应考虑在输送管涂层上施加额外保护层，如混凝土保护层。

8 铁路和公路越过现有管道

8.1 穿越管道的调整

如果计划的铁路或公路穿越处的现有管道符合本推荐作法要求时，管道不必做任何调整。但是出于本推荐作法范围之外的其它考虑，可能需对现有管道进行必要的调整。如需调整时，则现有管道应

按照本推荐作法放低、修理、调整、更换或改线。

8.2 现有管道不停输的调整

8.2.1 放低作业

如果要求就地放低穿越管道，在设计阶段和放低作业期间就应注意防止在管线上产生过度的应力，并应符合 API RP 1117 的规定。应将穿越段两侧足够长距离内的管道挖开，使输送管均匀降低，以便靠自然弯曲贴合在所要求深度的管沟中。

8.2.2 拼合套管

在由于铁路或公路外荷载产生的应力需给正在运行的输送管加套管的地方，可以用拼合套管的方法安装套管。这种方法规定把套管沿轴向剖成两块，在修复输送管涂层和安装好套管绝缘体后，把两部分焊接在输送管外面。在焊接过程中应采取预防措施，以防焊接操作中产生的飞溅损伤输送管涂层或绝缘体。

8.2.3 临时旁通

为了避免停输，可采用合适的机械方法将被调整的管段隔开，并安装旁通。

8.3 要求停输的管道调整

当管线不能因需要调整而停输几个小时以上时，通常另建一条新的穿越段，在这种情况下，唯一所需停输时间就是把新的穿越段与现有管道连接所需的时间。

8.4 公路或铁路施工期间对管道的保护

管道公司业主应与穿越段的铁路、公路施工方签订协议，以防在铁路或公路施工期间管道受施工机械平整路基（开挖或回填）产生的过大荷载或破坏。穿越段管道中心线应用合适的旗子、标杆或其它标志清晰地标出。应使用本推荐作法确定管道可能承受的应力，必要时应采用适当的过桥、钢筋混凝土板或其它措施保护管道。

安装网 http://www.azwang.com

附 录 A
（标准的附录）
补充材料性能和无套管穿越设计值

本附录给出有关材料特性和设计值的表和图，作为本推荐作法正文中相关内容的补充资料。

A1 常用值表

表 A1 土壤反作用模量（E'）常用值

土壤说明	E' MPa
软至中密粘土和高塑性粉土	1.4
软至中密粘土和低、中塑性粉土，疏松砂土和含砾石土	3.4
硬至极硬粘土和粉土，中密砂土和含砾石土	6.9
密砂土、高密砂土和含砾石土	13.8

表 A2 弹性模量 E_r 常用值

土壤说明	E_r MPa
软至中密粘土和粉土	34
硬至极硬粘土和粉土，疏松至中密砂土和含砾石土	69
密砂土、高密砂土和含砾石土	138

表 A3 常用钢材特性

特 性	常用值范围
杨氏模量 E_s，kPa	$1.9\times10^8\sim2.1\times10^8$
泊松比 ν_s	0.25～0.30
热膨胀系数，$℃^{-1}$	$1.6\times10^{-5}\sim1.9\times10^{-5}$

A2 公路车辆临界轴组合

当设计轮荷载不同于推荐最大值 $P_s=53.4kN$，$P_t=44.5kN$ 时，临界轴组合可能与表 3 给出的有差别。用图 A1 来确定是单轴还是双轴组合产生更大的输送管活荷载应力。在某一特定设计路面类型、埋深 H 和输送管径 D 条件下，如果设计值 P_s 和 P_t 的坐标位于图 A1 中直线以上，则单轴组合是临界的；如果设计值 P_s 和 P_t 的坐标位于图 A1 中直线以下，则双轴组合是临界的；在图 A1 中标出的圆点代表推荐的设计荷载 $P_s=53.4kN$ 和 $P_t=44.5kN$，以此导出本推荐作法正文中表 3 给出的临界轴组合。

安装网 http://www.azwang.com

H<4ft（1.2m），且 D≤12in（305mm）

H<4ft（1.2m），且 D>12in（305mm）；H≥4ft（1.2m）时所有管径

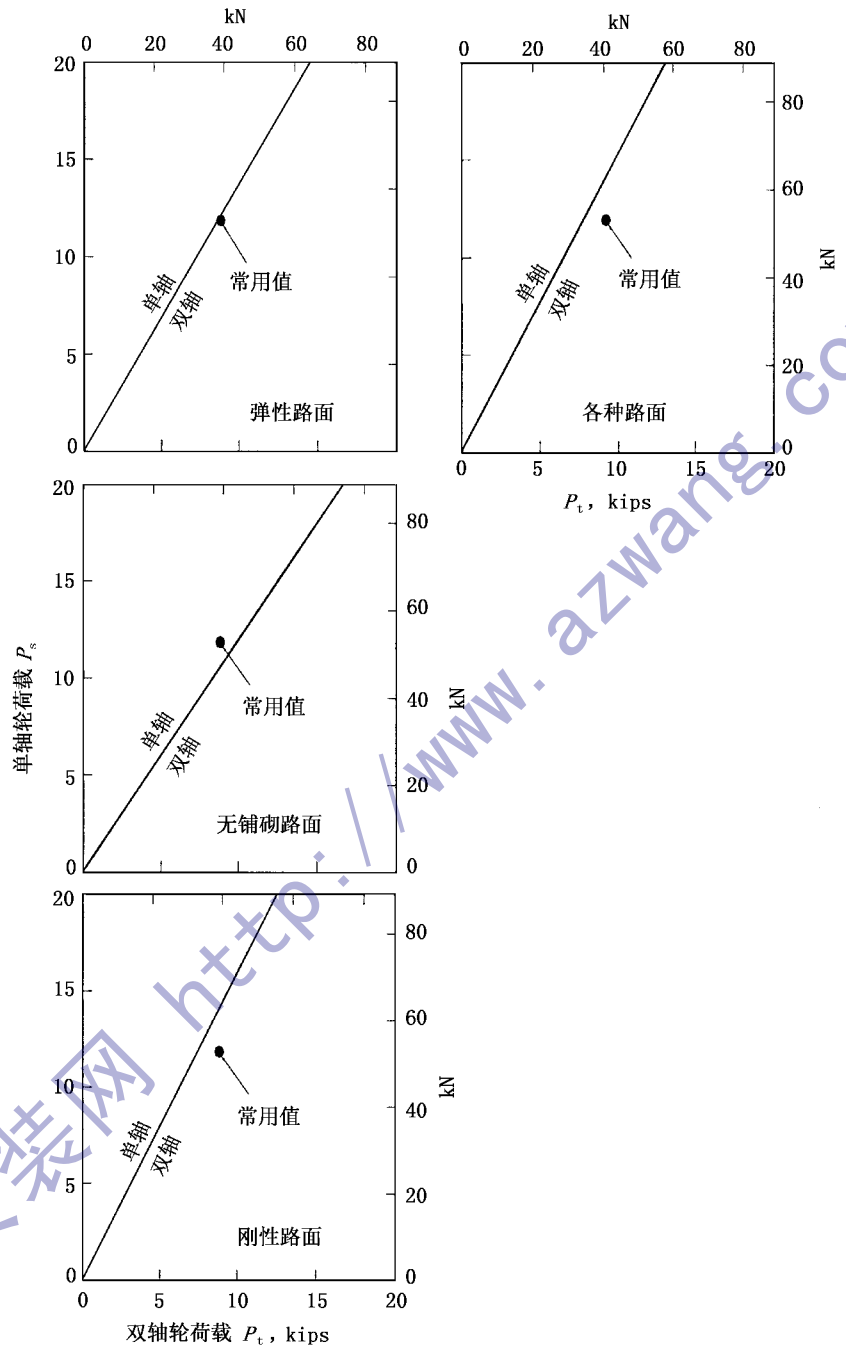


图 A1　确定设计是采用单轴还是双轴组合的主要依据

安装网 http://www.azwang.com

附 录 B
（提示的附录）
无套管穿越设计范例

B1 公路穿越设计

一条管径为 324mm、壁厚为 6.4mm 的液体产品管线打算穿越一条主要公路，该公路为沥青混凝土路面。管线钢材为 X42，采用电阻焊焊接而成，最大操作压力为 6.9MPa。管线采用无套管安装，设计埋深 1.83m，采用钻孔施工法，其钻孔过盈量为 51mm，穿越点土壤确定为疏松砂土，其弹性模量为 69MPa。

采用 API RP 1102，校核提出的设计是否足以承受所施加的土荷载、公路活荷载和内压。管道温度变化忽略不计。

第一步：原始设计资料

管子和管道操作特性

外径 D	323.9mm
操作压力 p	6895kPa
钢级	X42
规定最小屈服强度 $SMYS$	289590kPa
设计系数 F	0.72
纵向焊缝系数 E	1.00
安装温度 T_1	**略**
最大或最小操作温度 T_2	**略**
温度折减系数	**略**
壁厚 t_w	6.35mm

安装及现场特性

埋深 H	1.83mm
钻孔孔径 B_d	375.9mm
土壤类型	**疏松砂土**
土壤反作用模量 E'	3448kPa
弹性模量 E_r	68950kPa
土壤单位重量 γ	18.852kN/m^3
纵向焊缝类型	**电阻焊**
设计单轴轮荷载 P_s	53376N
设计双轴轮荷载 P_t	44480N
路面类型	**弹性路面**

管子其它钢特性

杨氏模量 E_s	206850000kPa
泊松比 ν_s	0.30
热膨胀系数 α_T	11.7×10^{-6}/℃

第二步：校核允许 Barlow 应力

用公式（8b），已知： **得出：**

$p=6895$kPa S_{Hi}（Barlow）$=175823$kPa

安装网 http://www.azwang.com

$D=323.9$mm

$t_w=6.35$mm

$F=0.72$　　$F\cdot E\cdot T\cdot SMYS=$略

$E=1.00$　　$F\cdot E\cdot SMYS=208505$kPa

$T=$略　　$SMYS=289590$kPa

S_{Hi}（Barlow）≤许用值？　对

第三步：由土荷载产生的环向应力

	已知：	得出：
1）用图 3，	$t_w/D=0.020$	$K_{He}=3024$
	$E'=3448$kPa	
2）用图 4，	$H/B_d=4.9$	$B_e=1.09$
	土壤类型＝疏松砂土＝A	
3）用图 5，	$B_d/D=1.16$	$E_e=1.11$
4）用公式（1），	$D=323.9$mm	$S_{He}=22195$kPa
	$\gamma=18.852$kN/m^3	

第四步：冲击系数 F_i 和外加设计表面压力，W

	已知：	得出：
1）用图 7（公路），	$H=1.83$m	$F_i=1.47$
2）外加设计表面压力 W，		
第 5.7.1.2a）条	弹性路面	$P_t=44480$N
临界条件：双轴		$W=479$kPa

第五步：周期应力，ΔS_{Hh}和 ΔS_{Lh}

1）周期环向应力 ΔS_{Hh}

	已知：	得出：
①用图 14，	$t_w/D=0.020$	$K_{Hh}=14.3$
	$E_r=68950$kPa	
②用图 15，	$D=323.9$mm	$G_{Hh}=0.99$
	$H=1.83$m	
③用表 4，		
弹性路面	$H=1.83$m	$R=1.00$
双轴	$D=323.9$mm	$L=1.00$
④用公式（5），		$\Delta S_{Hh}=9956$kPa

2）周期轴向应力 ΔS_{Lh}

	已知：	得出：
①用图 16，	$t_w/D=0.020$	$K_{Hh}=9.9$
	$E_r=68950$kPa	
②用图 17，	$D=323.9$mm	$G_{Hh}=1.01$
	$H=1.83$m	
③用表 4，		
弹性路面	$H=1.83$m	$R=1.00$
双轴	$D=323.9$mm	$L=1.00$
④用公式（6），		$\Delta S_{Lh}=7033$kPa

安装网 http://www.azwang.com

第六步：由内压产生的环向应力 S_{Hi}

	已知：	得出：
用公式（7），	$p=6895\text{kPa}$	$S_{Hi}=172375\text{kPa}$
	$D=323.9\text{mm}$	
	$t_w=6.35\text{mm}$	

第七步：主应力 S_1，S_2，S_3

已知：

$E_s=206.85\times10^6\text{kPa}$

$\alpha_T=11.7\times10^{-6}/℃$

$T_1=$略

$T_2=$略

$\nu_s=0.30$

	已知：	得出：
1）用公式（9），	$S_{He}=22195\text{kPa}$	$S_1=204526\text{kPa}$
	$\Delta S_{Hh}=9956\text{kPa}$	
	$S_{Hi}=172375\text{kPa}$	
2）用公式（10），	$\Delta S_{Lh}=7033\text{kPa}$	$S_2=65406\text{kPa}$
	$S_{He}=22195\text{kPa}$	
	$S_{Hi}=172375\text{kPa}$	
3）用公式（11），	$p=6895\text{kPa}$	$S_3=6895\text{kPa}$

4）用公式（12）求总有效应力 S_{eff}，

$S_1=204526\text{kPa}$　　$S_{eff}=186123\text{kPa}$

$S_2=65406\text{kPa}$

$S_3=-6895\text{kPa}$

5）用公式（13）校核许用有效应力，

$F=0.72$

$SMYS=289590\text{kPa}$

$S_{eff}=186123\text{kPa}$

$SMYS\cdot F=208505\text{kPa}$

$S_{eff}\leqslant SMYS\cdot F$？　对

第八步：疲劳校核

1）环焊缝

	已知：	得出：
用表 3 和公式（17），	$F=0.72$	$S_{FG}=82740\text{kPa}$
	$\Delta S_{LH}=7033$	$\Delta S_{Lh}\leqslant S_{FG}\cdot F$？对
	$S_{FG}\cdot F=59573\text{kPa}$	

2）纵焊缝

用表 3 和公式（20），	$F=0.72$	$S_{FL}=144795\text{kPa}$
		$\Delta S_{Hh}=9956\text{kPa}$
	$S_{FL}\cdot F=104252\text{kPa}$	$\Delta S_{Hh}\leqslant S_{FL}\cdot F$？对

安装网 http://www.azwang.com

B2 铁路穿越设计

与公路例题相同，有一根直径为 324mm，壁厚为 6.4mm 的液体产品管道，现将穿越两条相邻铁轨，无套管输送管埋深 1.8m，所有其它设计参数同公路穿越。

采用 API RP 1102，校核设计是否足以承受外加的土荷载、铁路活荷载和内压。管道温度变化忽略不计，假定距铁轨中心线两端 1.524m 范围内有环焊缝。

B2.1 铁路穿越例题

第一步：原始设计资料

管子和管道操作特性

外径 D	323.9mm
操作压力 p	6895kPa
钢级	X42
规定最小屈服强度 $SMYS$	289590kPa
设计系数 F	0.72
纵向焊缝系数 E	1.00
安装温度 T_1	略
最大或最小操作温度 T_2	略
温度折减系数 T	略
壁厚 t_w	6.35mm

安装及现场特性

埋深 H	1.83m
钻孔孔径 B_d	375.9mm
土壤类型	疏松砂土
土壤反作用模量 E'	3448kPa
弹性模量 E_r	68950kPa
土壤单位重量 γ	18.852kN/m^3
纵焊缝类型	电阻焊
环焊缝距轨道中心线距离 L_G	0m
轨道数（1 或 2）	2
轨道荷载	E－80

管子其它钢特性

杨氏模量 E_s	206850000kPa
泊松比 ν_s	0.30
热膨胀系数 α_T	11.7×10^{-6}/℃

第二步：校核允许 Barlow 应力

用公式（8b），已知：

$p=6895$kPa

$D=323.9$mm

$t_w=6.35$mm

$F=0.72$

$E=1.00$

$T=$略

得出：

S_{Hi}（Barlow）$=175823$kPa

$F\cdot E\cdot T\cdot SMYS=$略

$F\cdot E\cdot SMYS=208505$kPa

$SMYS=289590$kPa

S_{Hi}（Barlow）≤许用值？ 对

安装网 http://www.azwang.com

第三步：由土荷载产生的环向应力

	已知：	得出：
1）用图 3，	$t_w/D=0.020$	$K_{He}=3024$
	$E'=3448\text{kPa}$	
2）用图 4，	$H/B_d=4.9$	$B_e=1.09$
	土壤类型＝疏松砂土＝A	
3）用图 5，	$B_d/D=1.16$	$E_e=1.11$
4）用公式（1），$D=323.9\text{mm}$		$S_{He}=22195\text{kPa}$
	$\gamma=18.852\text{kN/m}^3$	

第四步：冲击系数 F_i 和外加的设计表面压力 W

	已知：	得出：
1）用图 7（铁路），$H=1.83\text{m}$		$F_i=1.72$
2）外加的设计表面压力，轨道荷载＝$E-80$（5.7.1.2a）款）		$W=95.8\text{kPa}$

第五步：周期应力，ΔS_{Hr}和 ΔS_{Lr}

1）周期环向应力 ΔS_{Hr}

	已知：	得出：
①用图 8，	$t_w/D=0.020$	$K_{Hr}=332$
	$E_r=68950\text{kPa}$	
②用图 9，	$D=323.9\text{mm}$	$G_{Hr}=0.98$
	$H=1.83\text{m}$	
③用第 5.7.1.2c）款和图 10，		
	$N_t=2$	$N_H=1.11$
④用公式（3），		$\Delta S_{Hr}=59531\text{kPa}$

2）周期轴向应力 ΔS_{Lr}

	已知：	得出：
①用图 11，	$t_w/D=0.020$	$K_{Lr}=317$
	$E_r=68950\text{kPa}$	
②用图 12，	$D=323.9\text{mm}$	$G_{Lr}=0.98$
	$H=1.83\text{m}$	
③用第 5.7.1.2c）款和图 13，		
	$N_t=2$	$N_H=1.00$（4）
④用公式（4），		$\Delta S_{Lr}=51209\text{kPa}$

第六步：由内压产生的环向应力 S_{Hi}

	已知：	得出：
用公式（7），	$p=6895\text{kPa}$	$S_{Hi}=172375\text{kPa}$
	$D=323.9\text{mm}$	
	$t_w=6.35\text{mm}$	

第七步：主应力 S_1，S_2，S_3

已知：	得出：
$E_s=206.85\times10^6\text{kPa}$	
$\alpha_T=11.7\times10^{-6}/℃$	

安装网 http://www.azwang.com

T_1 = **略**

T_2 = **略**

$\nu_s = 0.30$

1）**用公式（9），** $S_{He} = 22195\text{kPa}$ $S_1 = 254101\text{kPa}$

$\Delta S_{Hr} = 59531\text{kPa}$

$S_{Hi} = 172375\text{kPa}$

2）**用公式（10），** $\Delta S_{Lr} = 51209\text{kPa}$ $S_2 = 109582\text{kPa}$

$S_{He} = 22195\text{kPa}$

$S_{Hi} = 172375\text{kPa}$

3）**用公式（11），** $p = 6895\text{kPa}$ $S_3 = -6895\text{kPa}$

4）**用公式（12）计算总有效应力，**

$S_1 = 254101\text{kPa}$ $S_{eff} = 226466\text{kPa}$

$S_2 = 109582\text{kPa}$

$S_3 = -6895\text{kPa}$

5）**用公式（13）校核许用有效应力，**

$F = 0.72$

$SMYS = 289590\text{kPa}$

$S_{eff} = 226466\text{kPa}$

$SMYS \cdot F = 208505\text{kPa}$

$S_{eff} \leqslant SMYS \cdot F$？ **否**

B2.2 铁路穿越例题（壁厚已改）

第一步：修改后的设计资料

管子和管道操作特性

外径 D	323.9mm
操作压力 p	6895kPa
钢级	X42
规定最小屈服强度 $SMYS$	289590kPa
设计系数 F	0.72
纵向焊缝系数 E	1.00
安装温度 T_1	**略**
最大或最小操作温度 T_2	**略**
温度折减系数 T	**略**
壁厚 t_w	7.1mm

安装及现场特性

埋深 H	1.83m
钻孔孔径 B_d	375.9mm
土壤类型	**疏松砂土**
土壤反作用模量 E'	3448kPa
弹性模量 E_r	68950kPa
土壤单位重量 γ	18.852kN/m^3
纵焊缝类型	**电阻焊**
环焊缝距轨道中心线距离 L_G	0m

安装网 http://www.azwang.com

轨道数（1 或 2） 2

轨道荷载 E－80

管子其它钢特性

杨氏模量 E_s 206850000kPa

泊松比 ν_s 0.30

热膨胀系数 α_T $11.7\times10^{-6}℃^{-1}$

第二步：校核允许 Barlow 应力

	已知：	**得出：**
用公式（8a），	$p=6895$kPa	S_{Hi}（Barlow）$=156427$kPa
	$D=323.9$mm	
	$t_w=7.1$mm	
	$F=0.72$	$F\cdot E\cdot T\cdot SMYS=$**略**
	$E=1.00$	$F\cdot E\cdot SMYS=208505$kPa
	$T=$**略**	$SMYS=289590$kPa
		S_{Hi}（Barlow）≤**许用值？ 是**

第三步：由土荷载产生的环向应力

	已知：	**得出：**
1）**用图 3，**	$t_w/D=0.022$	$K_{He}=2500$
	$E'=3448$kPa	
2）**用图 4，**	$H/B_d=4.9$	$B_e=1.09$
	土壤类型＝疏松砂土＝A	
3）**用图 5，**	$B_d/D=1.16$	$E_e=1.11$
4）**用公式（1），**	$D=323.9$mm	$S_{He}=18348$kPa
	$\gamma=18.852$kN/m^3	

第四步：冲击系数 F_i 和外加的设计表面压力 W

	已知：	**得出：**
1）**用图 7（铁路），**	$H=1.83$m	$F_i=1.72$
2）**外加的设计表面压力 W，**		
（用 5.7.1.2a)）	**轨道荷载**＝E－80	$W=95.8$kPa

第五步：周期应力，ΔS_{Hr}和 ΔS_{Lr}

1）**周期环向应力** ΔS_{Hr}

	已知：	**得出：**
①**用图 8，**	$t_w/D=0.022$	$K_{Hr}=320$
	$E_r=68950$kPa	
②**用图 9，**	$D=323.9$mm	$G_{Hr}=0.98$
	$H=1.83$m	
③**用第** 5.7.1.2a）**款和图 10，**		
	$N_t=2$	$N_H=1.11$
④**用公式（3），**		$\Delta S_{Hr}=57380$kPa

2）**周期轴向应力** ΔS_{Lr}

	已知：	**得出：**
①**用图 11，**	$t_w/D=0.022$	$K_{Lr}=305$

安装网 http://www.azwang.com

$E_r = 68950\text{kPa}$

②**用图** 12，　$D = 323.9\text{mm}$　　$G_{Lr} = 0.98$

$H = 1.83\text{m}$

③**用第** 5.7.1.2a）**款和图** 13，

$N_t = 2$　　$N_H = 1.00$

④**用公式**（4），　$\Delta S_{Lr} = 49272\text{kPa}$

第六步：由内压产生的环向应力 S_{Hi}

	已知：	**得出：**
用公式（7），	$p = 6895\text{kPa}$	$S_{Hi} = 152979\text{kPa}$
	$D = 323.9\text{mm}$	
	$t_w = 7.1\text{mm}$	

第七步：主应力 S_1，S_2，S_3

已知：

$E_s = 206.85 \times 10^6\text{kPa}$

$\alpha_T = 11.7 \times 10^{-6}/℃$

$T_1 =$ **略**

$T_2 =$ **略**

$\nu_s = 0.30$

1）**用公式**（9），　$S_{He} = 18348\text{kPa}$　　$S_1 = 228707\text{kPa}$

$\Delta S_{Hr} = 57380\text{kPa}$

$S_{Hi} = 152979\text{kPa}$

2）**用公式**（10），　$\Delta S_{Lr} = 49272\text{kPa}$　　$S_2 = 100667\text{kPa}$

$S_{He} = 18348\text{kPa}$

$S_{Hi} = 152979\text{kPa}$

3）**用公式**（11），　$p = 6895\text{kPa}$　　$S_3 = -6895\text{kPa}$

4）**用公式**（12）**计算总有效应力，**

$S_1 = 228707\text{kPa}$　　$S_{eff} = 204292\text{kPa}$

$S_2 = 100667\text{kPa}$

$S_3 = -6895\text{kPa}$

5）**用公式**（13）**校核许用有效应力，**

$F = 0.72$

$SMYS = 289590\text{kPa}$

$S_{eff} = 204292\text{kPa}$

$SMYS \cdot F = 208505\text{kPa}$

$S_{eff} \leqslant SMYS \cdot F$？　**是**

第八步：疲劳校核

	已知：	**得出：**
1）**环焊缝用表** 5，	$F = 0.72$	$S_{FG} = 82740\text{kPa}$
①$L_G < 1.5\text{m}$，**用公式**（15），		
	$\Delta S_{Lr} = 49272\text{kPa}$	$\Delta S_L / N_L \leqslant S_{FG} \cdot F$？**是**
	$N_L = 1.00$	

安装网 http://www.azwang.com

$\Delta S_{Lr}/N_L = 49272\text{kPa}$

$S_{FG}\cdot F = 59573\text{kPa}$

②$L_G \geqslant 1.5\text{m}$，

用图 18，　$L_G =$　　$R_F =$

用公式（16），　$\Delta S_{Lr} =$　　$R_F\Delta S_{Lr}/N_L \leqslant S_{FG}\cdot F$？　**是**

$N_L =$

$R_F\Delta S_{Lr}/N_L =$

$S_{FG}\cdot F =$

2）**纵焊缝用表** 5，　$F = 0.72$　　$S_{FL} = 144795\text{kPa}$

用公式（19），　$\Delta S_{Hr} = 57380\text{kPa}$　　$\Delta S_{Hr}/N_H \leqslant S_{FL}\cdot F$？　**是**

$N_H = 1.11$

$\Delta S_{Hr}/N_H = 51699\text{kPa}$

$S_{FL}\cdot F = 104252\text{kPa}$

安装网 http://www.azwang.com

附 录 C
（标准的附录）
套管壁厚

表 C1 钻孔穿越中所用挠性套管最小公称壁厚

管子公称直径 D_N	最小公称壁厚 mm	
	铁 路	公 路
≤350	4.8	3.4
≤400	5.6	3.4
≤450	6.4	3.4
≤500	7.1	3.4
≤550	7.1	4.2
≤600	7.9	4.2
≤650	8.7	4.2
≤700	9.5	4.2
≤750	10.3	4.2
≤800	11.1	4.2
≤850	11.9	4.2
≤900	11.9	4.2
≤950	12.7	4.8
≤1000	13.5	4.8
≤1050	14.3	4.8
≤1100	15.1	4.8
≤1150	15.1	5.6
≤1200	15.9	5.6
≤1250	16.7	6.4
≤1300	17.5	6.4
≤1350	18.3	6.4
≤1400	19.1	6.4
≤1450	19.1	6.4
≤1500	19.8	6.4

安装网 http://www.azwang.com

中华人民共和国
石油天然气行业标准
钢质管道穿越铁路和公路推荐作法
SY/T 0325－2001
*
石油工业出版社出版
（北京安定门外安华里二区一号楼）
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行
*
880×1230 毫米 16 开本 3 印张 81 千字 印 1－3000
2002 年 3 月北京第 1 版　2002 年 3 月北京第 1 次印刷
书号：155021·5568　定价：22.00 元
版权专有　不得翻印

SY/T 0325－2001

安装网 http://www.azwang.com