

火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程 配套设计计算方法

国家电力公司华东电力设计院 钱成绪 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

ISBN 7-5083-1957-5
定 价： 16.00 元

内 容 提 要

本书为《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》(DL/T 5121—2000)的配套设计计算方法,内容包括火力发电厂烟风煤粉管道加固肋、支吊架、各类荷载计算,烟囱防腐烟速及静压计算方法等,是火力发电厂锅炉工艺专业设计的必备资料。

本书可供火力发电厂及其他行业从事锅炉烟风煤粉系统及烟风道设计、施工、运行人员使用,也可作为大专院校电厂热动力专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程配套设计计算方法/钱成绪编. —北京:中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-1957-5

I. 火… II. 钱… III. ①火电厂-烟道-设计-计算方法 ②火电厂-燃煤制粉系统-设计-计算方法
IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 122216 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)

航远印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 9 月第一版 2004 年 9 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 7.375 印张 194 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前

言

本书编制了按《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》(DL/T 5121—2000)(简称《六道技规》)条文要求的设计计算方法、图表、曲线等专题内容,便于在工程设计中采用。

本书的大部分内容,曾列为《六道技规》的附录,历经初稿、讨论稿、报批稿等阶段,通过了由电力规划设计总院组织的专业审查。根据《电力行业标准编写基本规定》(DL/T 600—2001)的规定,本书不宜列入《六道技规》,故作单独出版处理。

本书的内容与《六道技规》密切相关,为方便对照使用,在附件中列出了每个项目相对应的《六道技规》条款号。

为使本书内容完整和使用方便,特将《六道技规》的部分附录移植于本书中。

本书由国家电力公司华东电力设计院钱成绪编,由王文元校对。



录

前言

T1	烟囱出口烟速选择计算	1
T1.1	烟囱空气动力的基本计算公式	7
T1.2	锥型筒负压运行最高出口烟速 $[w_{ZR}]$ ——出口烟速 选择基础	14
T1.3	锥型筒正压运行出口烟速 $[w_{ZP}]$ ——升压提速法、 提速核压法	16
T1.4	锥型筒最大正压	31
T1.5	锥型筒静压及分布曲线	33
T1.6	直型筒负压运行最高出口烟速 $[w_{TR}]$ ——出口 烟速选择参考	35
T1.7	直型筒及烟道为全程负压运行时最高出口 烟速 $[w_{TY0}]$	42
T1.8	直型筒入口“零”压力时最高出口烟速 $[w_{T0}]$ ——出口烟速选择依据	42
T1.9	直型筒静压及分布曲线	50
T1.10	筒—锥型组合烟囱	51
T1.11	烟囱扩散口	54
T1.12	烟囱外部烟道静压状态判别	59
T1.13	烟囱结构型式与防腐措施	62
T1.14	烟囱出口烟速选择计算示例	67
T2	风、雪及地震荷载的近似算法	84
T2.1	风荷载	84
T2.2	雪荷载	87

T2.3	地震荷载	88
T3	烟风道加固肋及内撑杆选择	90
T3.1	加固肋及内撑杆选择方法说明	92
T3.2	无加固肋矩形道体面板允许宽度	122
T3.3	横向加固肋最大中心间距	126
T3.4	矩形道体横向加固肋选型	130
T3.5	加固肋频率控制极限跨度	146
T3.6	负压道体横向加固肋不失稳最大跨度	147
T3.7	内撑杆规格	151
T3.8	圆形管道横向加固肋	156
T4	加固肋组合截面特性	157
T5	热位移的近似计算法	160
T5.1	计算步骤	160
T5.2	例题	163
T6	支吊架结构计算	166
T6.1	管部结构计算	168
T6.2	根部结构计算	176
T6.3	轴心受压构件的稳定系数计算	186
T6.4	受弯构件的整体稳定系数	187
T7	中小型机组用矩形烟风道的横向加固肋	191
附录 B (标准的附录)	常用结构钢材及其使用温度	219
附录 C (标准的附录)	常用钢材特性数据	221
附录 D (标准的附录)	烟风道介质设计压力	223
附录 E (标准的附录)	烟风道加固肋设计荷载	224
附录 F (标准的附录)	烟风道积灰荷载	225

附录 N (提示的附录)	我国寒冷地区“冬季空气调节室外 计算温度”摘录	227
附录 P (提示的附录)	烟气腐蚀性分级	229
	《计算方法》项目与《六道技规》条款对照表	230

T1 烟囱出口烟速选择计算

前 言

烟囱出口烟气速度如同烟囱高度一样,根据锅炉所在地区的烟尘及有害排放物的扩散条件来确定。有害排放物质和飞灰的最大浓度随烟囱高度和烟囱出口烟气速度的提高而降低。因此烟囱出口处的烟气速度,应尽可能在所采用的烟囱高度下保证有害物质和飞灰允许排放浓度的条件来考虑。

但出口烟速的提高又受到烟囱内部允许承受压力的限制。对砖烟囱和钢筋混凝土烟囱,特别是在外筒与内筒之间没有通风道的烟囱,提高出口烟气速度的可能性受到在烟囱内部任一截面上出现剩余静压(正压)的限制。过高的出口烟速使烟囱内部超压,引发烟囱筒壁渗漏腐蚀,将直接影响烟囱运行的安全性和可靠性。

在电力系统,早期的烟囱出口烟气速度过高,过半的电厂烟囱出现正压,发生筒壁渗漏腐蚀现象,不少烟囱已修复过,有的甚至推倒重建。因此,电力设计系统在八九十年代曾多次研讨对策,提出一系列防护措施;并强调把烟囱作为火电厂的一个主要构筑物,同时也可作为一个重要设备来看待。

不同类型的烟囱有一个相对应的出口烟速极限值,在相同的外部条件下,这个极限值取决于下列四个因素:烟气腐蚀性等级(强、中、弱),烟囱内筒结构型式(锥型筒、直型筒、筒—锥组合型、扩散口),烟囱内筒材质(钢制的、砖砌内衬的、陶粒混凝土),烟囱内筒支撑方式(带凸肩的、无凸肩的、自承重式的)。

本计算从烟囱空气动力学计算问题出发,提出不同影响因素下满足烟囱安全运行的允许最高出口烟速的计算方法。

主 要 符 号

- B ——不同海拔地形标高相对应的平均大气压力（见图 T1.1-1），hPa
- B_j ——计入机械未完全燃烧损失的计算燃料消耗量，kg/h
- d ——烟囱出口内径，锥型筒自上而下依次为 d_0 、 $d_1 \cdots d_n$ ，直型筒坡度 $d = d_0$ ，m
- d_D ——烟囱底部（烟道入口中心标高）内径，m
- d_{in} ——烟囱某计算区段的进口内径，m
- d_{out} ——烟囱某计算区段的出口内径，m
- d_K ——烟囱扩散口出口内径，m
- $\overline{d_K}$ ——烟囱扩散口出口相对内径， $\overline{d_K} = d_K/d_0$
- D_m ——烟囱（或计算段）最高静压（正压）点处的内径，m
- D_{yD} ——烟囱入口烟道当量直径（分为主烟道 D_{yDZ} 和分烟道 D_{yDF} ），m
- g ——地面重力加速度， m/s^2
- H ——烟囱结构高度，m
- H_a ——烟囱入口烟道中心高度，自身通风的起始高度，烟囱底部入口截面的高度，m
- H_0 ——烟囱自身通风或阻力计算的高度， $H_0 = H - H_a$ ，m
- H_{yD} ——吸风机扩散管终端至主烟道中心的高度差，m
- H_Z ——筒—锥型组合烟囱锥型筒段高度，m
- H_T ——筒—锥型组合烟囱直型筒段高度，m
- h_d ——烟囱计算截面上的烟气动压，Pa
- $h_{d,in}$ ——烟囱某区段进口烟速 w_{in} 下的烟气动压，Pa
- $h_{d,out}$ ——烟囱某区段出口烟速 w_{out} 下的烟气动压，Pa

- h_D ——烟囱底部截面处烟气上升动压, Pa
 h_{d0} ——烟囱出口截面上的烟气动压, Pa
 h_{da} ——烟囱异形件入口截面上的烟气动压, Pa
 h_{dK} ——烟囱扩散口出口截面上的烟气动压, Pa
 h_K ——烟囱扩散口自身通风, Pa
 $\bar{h}_K$ ——烟囱扩散口自身通风的相对值
 h_{zs} ——烟囱或烟囱区段的自身通风 (自拔力), Pa
 Δh_d ——烟囱某区段进、出口烟气动压差, Pa
 Δh_{d0} ——烟囱出口速度的压力损失, Pa
 Δh_M ——在高度差为 Δl 的烟囱区段内烟气流动时的摩擦阻力损失, Pa
 Δh_{KM} ——烟囱扩散口阻力损失, P
 Δh_{yD} ——烟囱入口烟道阻力损失 (分为主烟道 Δh_{yDZ} 和分烟道 Δh_{yDF}), Pa
 $\Sigma \Delta h_M$ ——烟囱各区段总摩擦阻力损失, Pa
 i ——烟囱内壁坡度, 锥型筒坡度自上而下依次为 i_0 、 i_1 、 $\dots$ 、 i_n 直型筒坡度, $i = 0$
 l_K ——烟囱扩散口高度, m
 $\bar{l}_K$ ——烟囱扩散口相对高度
 Δl ——烟囱计算截面与出口截面间的高度差 (区段), 即为烟囱自身通风或阻力计算的计算高度, m
 L_{yD} ——烟囱入口烟道长度 (分为主烟道 L_{yDZ} 和分烟道 L_{yDF}), m
 p ——烟囱计算截面上的烟气绝对静压, Pa
 p_{a0} ——烟囱出口截面上的大气压力 (等于烟囱出口截面上的烟气绝对静压), Pa
 p_a ——在烟囱计算截面水平处的外部大气压力, Pa
 $[\Delta p]$ ——烟囱内允许正值, 按烟气腐蚀性等级确定为

[0] / [49] / [98], Pa

Δp ——烟囱计算截面上的烟气静压差（简称静压）， $\Delta p = p - p_a$, Pa

Δp_a ——烟囱异形件入口截面上的烟气静压，Pa

Δp_{Za} ——锥型筒烟囱异形件入口截面上的烟气静压，Pa

Δp_{Ta} ——直型筒烟囱异形件入口截面上的烟气静压，Pa

Δp_{Zua} ——筒—锥型组合烟囱异形件入口截面上的烟气静压，Pa

Δp_0 ——烟囱出口截面上的烟气静压， $\Delta p_0 = 0$, Pa

Δp_{KT0} ——带扩散口直型筒烟囱出口截面上的烟气静压， $\Delta p_{KT0} = \Delta p_K < 0$, Pa

Δp_D ——烟囱底部截面上的烟气静压，Pa

Δp_Z ——锥型筒烟囱计算截面上的烟气静压，Pa

Δp_T ——直型筒烟囱计算截面上的烟气静压，Pa

Δp_{Zu} ——筒—锥型组合烟囱计算截面上的烟气静压， $\Delta p_{Zu} = \Delta p_{TD} + \Delta p_Z$, Pa

Δp_{ZD} ——锥型筒烟囱底部截面上的烟气静压，Pa

Δp_{TD} ——直型筒烟囱底部截面上的烟气静压，Pa

Δp_{ZuD} ——筒—锥型组合烟囱底部截面上的烟气静压， $\Delta p_{ZuD} = \Delta p_{ZD} + \Delta p_{TD}$, Pa

Δp_{Zm} ——锥型筒烟囱的最高静压，Pa

Δp_{Tm} ——直型筒烟囱的最高静压， $\Delta p_{Tm} = \Delta p_{TD}$, Pa

Δp_{Zum} ——筒—锥型组合烟囱的最高静压， $\Delta p_{Tm} = \Delta p_{Zm} + \Delta p_{Zm}$, Pa

Δp_K ——烟囱扩散口入口（即烟囱出口）截面上烟气静压（即扩散口“可用负压”），Pa

Δp_{KZ} ——带扩散口锥型筒烟囱计算截面上的烟气静压，Pa

Δp_{KZm} ——带扩散口锥型筒烟囱最高静压，Pa

Δp_{KZD} ——带扩散口锥型筒烟囱底部截面上的烟气静压, Pa

Δp_{KZa} ——带扩散口锥型筒烟囱入口处静压, Pa

Δp_{KT} ——带扩散口直型筒烟囱计算截面上的烟气静压, Pa

Δp_{KTm} ——带扩散口直型筒烟囱最高静压, Pa

Δp_{KTD} ——带扩散口直型筒或筒—锥型组合烟囱底部截面上的
烟气静压, Pa

Δp_{KTa} ——带扩散口直型筒型烟囱入口处静压, Pa

Δp_{KZu} ——带扩散口筒—锥型组合烟囱计算截面上的烟气静
压, Pa

Δp_{KZum} ——带扩散口筒—锥型组合烟囱最高静压, Pa

Δp_{KZuD} ——带扩散口筒—锥型组合烟囱底部截面上的烟气静
压, Pa

Δp_{KZua} ——带扩散口筒—锥型组合烟囱入口处静压, Pa

$\Delta p_{yD, in}$ ——吸风机出口扩散管终端(分烟道入口)静压, 理想
工况下, 静压 $\Delta p_{yD, in} = 0$, Pa

$\Delta p'_K$ ——烟囱扩散口喉部计算负压值, Pa

$\overline{\Delta p'_K}$ ——烟囱扩散口喉部计算负压的相对值

$\overline{\Delta p_K}$ ——烟囱扩散口入口相对于烟囱出口动压的相对静压

$$\overline{\Delta p_K} = \Delta p_K / h_{d0}$$

R_Z ——锥型筒烟囱的静压准则数

R_T ——直型筒烟囱的静压准则数

R_{Zu} ——筒—锥型组合烟囱的静压准则数

R_{ZP} ——正压锥型筒烟囱的静压准则数

$\sqrt{R_{ZP}}$ ——锥型筒正压条件下的负荷系数

t_a ——全年最热月份环境空气的平均温度, $^{\circ}\text{C}$

t_y ——吸风机入口烟气温度, $^{\circ}\text{C}$

Δt ——烟气温度与最热月份环境空气平均温度的差值, $^{\circ}\text{C}$

V ——烟筒排烟量, 取吸风机入口烟气流量, m^3/s

- V^0 ——燃料燃烧生成物的理论烟气体积, Nm^3/kg
 V_{py} ——在锅炉空气预热器出口过剩空气系数下的理论燃烧烟气体积, Nm^3/kg
 w_0 ——烟囱出口烟速, m/s
 w_a ——烟囱异形件入口主烟道烟速, m/s
 w_{in} ——烟囱某计算区段内径 d_{in} 时的进口烟速, m/s
 w_{out} ——烟囱某计算区段内径 d_{out} 时的出口烟速, m/s
 w_D ——烟囱底部截面处烟气上升烟速, m/s
 w_k ——烟囱扩散口出口烟速, m/s
 w_y ——吸风机扩散管出口分烟道 (主烟道前) 烟速, m/s
 $[w_{\text{ZR}}]$ ——锥型筒烟囱负压运行最高出口烟速, m/s
 $[w_{\text{ZP}}]$ ——锥型筒烟囱正压运行最高出口烟速, m/s
 $[w_{\text{TR}}]$ ——直型筒烟囱负压运行最高出口烟速, m/s
 $[w_{\text{TYO}}]$ ——直型筒烟囱及烟道全程负压运行最高出口烟速, m/s
 $[w_{\text{TO}}]$ ——直型筒烟囱入口“零”压力时最高出口烟速, m/s
 Y ——烟囱计算段最高静压 (正压) 点离计算段出口截面的垂直距离, m
 ρ_s ——烟囱周围的大气密度, 按全年最热月份环境空气平均温度 (t_a) 下的密度采用, kg/m^3
 ρ_{a0} ——标准状态下 (1013hPa , 0°C) 的大气密度, $\rho_{a0} = 1.285\text{kg/Nm}^3$ (含水汽 10g/kg)
 ρ_y ——排烟筒内烟气平均温度 (近似按吸风机入口温度 t_y 采用) 下的密度, kg/m^3
 ρ_{y0} ——吸风机入口标准状态下的烟气密度, kg/Nm^3
 $\Delta\rho$ ——烟气与环境空气 (最热月份平均值) 的密度差, kg/m^3
 ζ_a ——烟囱入口异形件局部阻力系数
 ζ_{aZ} ——烟囱入口主烟道局部阻力系数

ζ_{aF} ——烟囱入口分烟道局部阻力系数

ζ_0 ——烟囱出口局部阻力系数，取 $\zeta_0 = 1.0$

ζ_k ——烟囱扩散口局部阻力系数

λ_z ——锥型筒烟囱内壁摩擦阻力系数

λ_T ——直型筒烟囱内壁摩擦阻力系数

λ_{aZ} ——烟囱入口主烟道摩擦阻力系数

λ_{aF} ——烟囱入口分烟道摩擦阻力系数

$\Delta\alpha$ ——空气预热器出口至引风机入口间的烟道及设备漏风系数

T1.1 烟囱空气动力的基本计算公式

T1.1.1 烟囱的静压力

1 烟囱内任一计算截面和其出口截面间热烟气的伯诺利方程按式 (T1.1-1) 表达，即

$$p + h_d = p_{a0} + h_{d0} + \Delta h_M + g\rho_y \Delta l \quad \text{Pa} \quad (\text{T1.1-1})$$

式中：

p 、 h_d ——所计算截面上烟气的绝对静压和动压，Pa；

p_{a0} 、 h_{d0} ——烟囱出口水平面上的大气压力（等于烟囱出口截面上的烟气绝对静压）和烟囱出口截面上的烟气动压，Pa；

Δl ——计算截面与烟囱出口截面间高度差（区段），m；

Δh_M ——在高度差为 Δl 的烟囱区段内烟气流动时的摩擦阻力损失，Pa；

ρ_y ——相应温度下的烟气密度， kg/m^3 。

在计算截面处，烟囱外的大气静压方程为

$$p_a = p_{a0} + g\rho_a \Delta l \quad \text{Pa} \quad (\text{T1.1-2})$$

式中：

p_a ——在计算截面水平处的大气压力，Pa；

ρ_a ——烟囱周围的大气密度， kg/m^3 。

2 计算截面的相对静压由式 (T1.1-1) 转换成如下通用表达式, 即

$$\Delta p = p - p_a = h_{d0} - h_d + \Delta h_M - g \Delta \rho \Delta l \quad \text{Pa} \quad (\text{T1.1-3})$$

$$\Delta \rho = \rho_a - \rho_y \quad (\text{T1.1-3a})$$

式中:

$\Delta \rho$ ——烟气与环境空气 (最热月份平均值) 的密度差, kg/m^3 。

烟囱出口截面的相对静压永远为零 ($\Delta p_0 = 0$), 因为 $h_{d0} = h_d$, $\Delta h_M = 0$, $\Delta l = 0$ 。

计算截面与烟囱出口截面的动压差 ($h_{d0} - h_d$), 对于锥型筒总是大于零, 因为 $h_{d0} > h_d$; 对于直型筒等于零, 因为 $h_{d0} = h_d$ 。

为使用方便, 本计算将静压差 Δp 简称为静压。

T1.1.2 烟囱自生通风

不论锥型内筒 (简称锥型筒)、直筒型内筒 (简称直型筒) 或其他组合型烟囱, 其自生通风 (h_{zs}) 按式 (T1.1-4) 计算, 即

$$h_{zs} = g (\rho_a - \rho_y) \Delta l = g \Delta \rho \Delta l \quad \text{Pa} \quad (\text{T1.1-4})$$

当为整个烟囱通风高度 (H_0) 时, 则

$$h_{zs} = g \Delta \rho H_0 \quad \text{Pa} \quad (\text{T1.1-5})$$

其中:

$$\rho_a = \rho_{a0} \frac{273}{273 + t_a} \quad \text{kg/m}^3 \quad (\text{T1.1-6})$$

$$\rho_y = \rho_{y0} \frac{273}{273 + t_y} \quad \text{kg/m}^3 \quad (\text{T1.1-7})$$

式中:

ρ_a ——全年最热月份地面环境空气湿度 (t_a) 下的大气密度, 当海拔标高大于 300m 时应乘以修正系数 $B/1013$, 1013 为海平面大气压力 (hPa), B 为当地平均大气压力 (hPa)。海平面 20℃ 大气密度 $\rho_a = 1.20 \text{kg/m}^3$, 平均大气压力与当地海拔标高的关系曲线见图 T1.1-1;

ρ_{a0} ——标准状态下 (1013hPa, 0℃) 的大气密度, 按

1.285kg/Nm³ 采用 (含水汽 10g/kg);

ρ_y ——排烟筒内烟气平均温度下的烟气密度, 为简化计算取吸风机入口处烟气密度 (视烟气在烟道及烟囱中的散热温降与烟气在吸风机中的温升相当), 当海拔高度大于 300m 时, 应乘以修正系数 $B/1013$;

ρ_{y0} ——吸风机入口处标准状态下的烟气密度, kg/Nm³, 按燃烧计算结果采用; 无计算数据时, 干式除尘(干烟气)取 1.32kg/Nm³, 湿式除尘(湿烟气)取 1.28kg/Nm³;

t_y ——吸风机入口烟气温度, °C, 按燃烧计算结果采用;

g ——当地地面重力加速度, 一般采用 9.81m/s²;

Δl ——烟囱自生通风计算高度(自出口截面向下计算至计算截面); 整个烟囱的自生通风计算高度为 $H_0 = H - H_a$;

H ——烟囱结构高度, m;

H_a ——烟囱自生通风的起始高度, 取烟囱入口烟道中心高度, 亦即烟囱底部入口截面的高度, m。

H 、 H_a 及 H_0 的关系见表 T1.1-1。

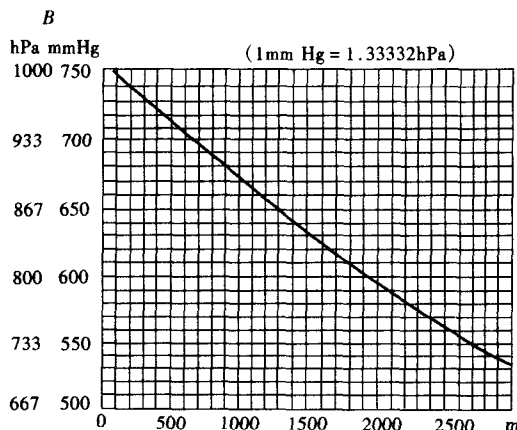


图 T1.1-1 平均大气压与当地海拔标高的关系

表 T1.1-1 不同高度烟囱的入口烟道中心高度 m

H	60	80	100	120	150	180	210	240	270	300
H _s	5		8			12			16	
H ₀	55	75	92	112	142	168	198	228	254	284

T1.1.3 烟囱阻力损失

1 烟囱出口速度的压力损失(Δh_{d0})按式(T1.1-8)计算,即

$$\Delta h_{d0} = \xi_0 \frac{w_0^2}{2} \rho_y = \xi_0 h_{d0} = h_{d0} \quad \text{Pa} \quad (\text{T1.1-8})$$

$$h_{d0} = \frac{w_0^2}{2} \rho_y$$

式中:

ξ_0 ——出口局部阻力系数, 取 $\xi_0 = 1.0$;

h_{d0} ——出口烟气动压, Pa;

w_0 ——出口烟速, $w_0 = 4V/\pi d_0^2$, m/s;

V ——烟囱排烟量, m^3/s , 取吸风机进口烟气流量, 按燃烧计算结果采用, 或按下式计算:

$$V = B_j (V_{py} + \Delta \alpha V^0) \frac{273 + t_y}{273} \frac{1}{3600} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (\text{T1.1-9})$$

当烟囱所在地海拔标高大于 300m 时, 烟量应乘以 1013/B 修正系数。

B_j ——计入机械未完全燃烧损失的计算燃料消耗量, kg/h;

V_{py} ——在空预器出口过剩空气系数下的理论燃烧烟气容积, Nm^3/kg ;

$\Delta \alpha$ ——空气预热器出口至吸风机进口的漏风系数;

V^0 ——理论空气量, Nm^3/kg 。

2 锥型筒摩擦阻力损失 (Δh_M) 计算如下:

1) 坡度为 i 烟筒 (或区段) 的摩擦阻力按式 (T1.1-10) 计算, 即

$$\Delta h_M = \frac{\lambda_Z (w_{out}^2 - w_{in}^2)}{8i} \rho_y = \frac{\lambda_Z}{8i} (h_{d,out} - h_{d,in}) = \frac{\lambda_Z}{8i} \Delta h_d \quad \text{Pa} \quad (\text{T1.1-10})$$