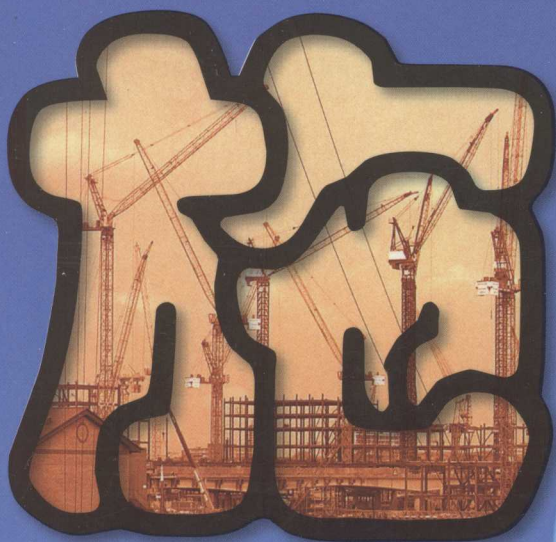


建筑安装工程施工细节详解系列

陈铭义 主编

冬期



细节详解



建筑安装工程施工细节详解系列
冬期施工细节详解

冬期施工细节详解

陈铭义 主编

目次

目次

第一章 冬期施工概述

第一章 冬期施工概述

1.1 冬期施工的定义

1.1 冬期施工的定义

1.2 冬期施工的特点

1.2 冬期施工的特点

1.3 冬期施工的任务

1.3 冬期施工的任务

第二章 冬期施工准备

第二章 冬期施工准备

2.1 技术准备

2.1 技术准备

2.2 物资准备

2.2 物资准备

2.3 人员准备

2.3 人员准备

2.4 现场准备

2.4 现场准备

2.5 安全准备

2.5 安全准备

2.6 环保准备

2.6 环保准备

2.7 其他准备

2.7 其他准备

第三章 冬期施工措施

第三章 冬期施工措施

3.1 保温措施

3.1 保温措施

3.2 防冻措施

3.2 防冻措施

3.3 防滑措施

3.3 防滑措施

3.4 防火措施

3.4 防火措施

3.5 防风措施

3.5 防风措施

3.6 其他措施

3.6 其他措施

第四章 冬期施工验收

第四章 冬期施工验收

4.1 验收标准

4.1 验收标准

4.2 验收程序

4.2 验收程序

4.3 验收记录

4.3 验收记录

4.4 验收结论

4.4 验收结论



机械工业出版社

本书共九章,主要介绍了冬期施工概述、土方工程与地基基础工程、砌体工程、钢筋工程、混凝土及其构件安装工程,屋面保温及防水工程、装饰工程、钢结构工程、越冬工程维护等。

冬期施工安装技术

主编 陈铭义

图书在版编目(CIP)数据

冬期施工细节详解/陈铭义主编. —北京:机械工业出版社,
2009.1

(建筑安装工程施工细节详解系列)

ISBN 978-7-111-25825-4

I. 冬… II. 陈… III. 严寒气候施工-施工技术 IV. TU742

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第202329号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:范秋涛 责任校对:吴美英

封面设计:姚毅 责任印制:邓博

北京京丰印刷厂印刷

2009年1月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·11.75印张·289千字

标准书号:ISBN 978-7-111-25825-4

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68327259

封面防伪标均为盗版

《冬期施工》

员人言

随着我国建设事业的发展,建筑业的发展十分迅速,内地建设项目也日益增多。我国地域辽阔,气候复杂,北方广大地区,每年都有较长的负温天气。而随着资源的开发,要求加强建设进度,使工程早日投入生产的建设项目越来越多,北方广大地区的冬期施工任务也就逐渐增多,且冬期施工有其特殊性和复杂性。为适应冬期施工发展的需要,我们根据国家最新颁布实施的冬期施工各相关设计规范、施工质量验收规范、规程及行业标准,编写了这本《冬期施工细节详解》。

本书共九章,主要介绍了冬期施工概述、土方工程与地基基础工程、砌体工程、钢筋工程、混凝土及其构件安装工程、屋面保温及防水工程、装饰工程、钢结构工程、越冬工程维护等内容。其主要内容都以细节中的要点详细阐述,表现形式新颖,易于理解,便于执行,方便读者抓住主要问题,及时查阅和学习。本书内容丰富,通俗易懂,操作性及实用性强,简明实用,可供冬期施工技术人员、现场管理人员以及相关专业的师生学习参考。

由于编者的水平和学识有限,尽管编者尽心尽力,但内容难免有疏漏或未尽之处,敬请有关专家和读者提出宝贵意见予以批评指正,以使本书不断充实、提高、完善。

编 者

目 录

前言	1
1 冬季施工概述	1
细节: 冬期施工的特点及基本要求	1
细节: 冬期施工的起止时间	2
细节: 气象术语、概念	2
细节: 传热的基本概念	3
细节: 导热的基本定律——傅里叶定律	4
细节: 围护结构的传热基本公式	5
细节: 材料的热导率	8
细节: 冬期施工的准备工作的	12
2 土方工程与地基基础工程	13
细节: 冻土的定义及构造特征	13
细节: 土的冻结过程与土的冻结温度	14
细节: 土的冻结深度	16
细节: 土的冻胀及其分类	16
细节: 冻土的物理性质	18
细节: 冻土的力学性质	19
细节: 地面翻松耙平防冻	23
细节: 覆盖雪防冻	24
细节: 保温材料防冻	26
细节: 循环针法冻土融解	26
细节: 电热法冻土融解	28
细节: 烘烤法冻土融解	29
细节: 冻土的破碎	29
细节: 冻土的挖掘	31
细节: 冻土的钻孔	31
细节: 土方回填	32
细节: 强夯法地基施工基本原理	33
细节: 确定冻土的处理方法	33
细节: 试夯与冻土施夯的参数	34
细节: 强夯地基冬期施工	35
细节: 桩身及桩基地梁冬期施工	36
细节: 桩基础冬期施工	36
细节: 钢筋混凝土预制桩	37
细节: 干作业成孔的灌注桩	40

细节：套管成孔的灌注桩.....	42
细节：土方工程冬期施工常见质量事故.....	43
3 砌体工程	47
细节：砌体工程冬期施工的一般要求.....	47
细节：材料要求.....	47
细节：砌筑砂浆.....	49
细节：外加剂作用机理.....	52
细节：外加剂法适用范围.....	52
细节：外加剂的选择.....	53
细节：外加剂盐类的掺法.....	54
细节：掺盐砂浆及砌体的力学性质.....	55
细节：砌体工程冬期施工准备.....	55
细节：外加剂法施工操作要点.....	56
细节：冻结法适用范围.....	57
细节：冻结法施工操作要点.....	58
细节：人工解冻.....	59
细节：解冻时的砌体验算及砂浆的计算强度.....	60
细节：暖棚法的适用范围.....	62
细节：暖棚法的施工要点.....	62
细节：蓄热法施工要点.....	62
细节：电加热法施工要点.....	63
细节：配筋砌体冬期施工要点.....	64
细节：石砌体工程冬期施工要点.....	65
细节：砌筑工程冬期施工常见质量事故.....	65
4 钢筋工程	68
细节：钢筋在负温下的力学性能.....	68
细节：钢筋负温冷拉与冷弯.....	70
细节：钢筋负温焊接要求.....	71
细节：负温闪光对焊的适用范围及工艺方法.....	72
细节：负温闪光对焊的质量验收.....	75
细节：负温电弧焊的适用范围及焊接工艺.....	76
细节：负温电弧焊的质量验收.....	79
细节：负温自动电渣压力焊.....	80
细节：钢筋挤压连接工艺参数.....	83
细节：钢筋挤压连接施工方法.....	84
细节：钢筋锥螺纹套筒连接.....	87
5 混凝土及其构件安装工程	90
细节：基本要求.....	90
细节：混凝土冬期施工的特点及期限.....	91

细节: 混凝土原材料	92
细节: 混凝土原材料的加热	94
细节: 混凝土的拌制	95
细节: 混凝土的运输和浇筑	96
细节: 混凝土的强度计算	97
细节: 混凝土工程冬期施工方法的选择	100
细节: 蓄热法养护	103
细节: 综合蓄热法养护	105
细节: 蒸汽法养护	107
细节: 暖棚法养护	111
细节: 电极加热法养护	112
细节: 电热毯加热法养护	113
细节: 工频涡流法养护	114
细节: 线圈感应加热法养护	115
细节: 远红外线养护	115
细节: 负温法养护	120
细节: 硫铝酸盐水泥早强混凝土	122
细节: 大体积混凝土冬期施工要点	123
细节: 大体积混凝土温度计算	125
细节: 混凝土的质量控制与检查	127
细节: 混凝土构件的堆放及运输	128
细节: 混凝土构件的吊装	129
细节: 混凝土构件的连接与校正	129
细节: 混凝土工程冬期施工常见的质量事故	129
6 屋面保温及防水工程	133
细节: 冬期施工的一般规定	133
细节: 冬期施工的前期准备	133
细节: 保温层施工	134
细节: 找平层施工	136
细节: 屋面高聚物改性沥青卷材防水层	138
细节: 屋面合成高分子卷材防水层	142
细节: 屋面涂膜防水层	144
细节: 屋面刚性防水层	146
7 装饰工程	149
细节: 冬期施工的一般规定	149
细节: 抹灰工程冬期施工	149
细节: 石材干挂要求	151
细节: 石材干挂施工	152
细节: 涂饰工程冬期施工	153
8 钢结构工程	155

50	细节: 施工准备	155
60	细节: 材料要求	155
70	细节: 放样和号料	156
80	细节: 下料	157
90	细节: 钢结构的校正和成形	159
100	细节: 钢结构的负温焊接	160
110	细节: 钢结构的安装	163
120	细节: 钢结构冬期施工常见质量事故	164
130		
9	越冬工程维护	166
10	细节: 基本要求	166
11	细节: 保温材料的覆盖厚度计算	166
12	细节: 保温层的铺设要求	167
13	细节: 结构物抗冻胀验算	168
14	细节: 在建工程	172
15	细节: 停、缓建工程	173
16	细节: 越冬工程冬期维护常见质量事故	174
17		
参考文献		176
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		
101		
102		
103		
104		
105		
106		
107		
108		
109		
110		
111		
112		
113		
114		
115		
116		
117		
118		
119		
120		
121		
122		
123		
124		
125		
126		
127		
128		
129		
130		
131		
132		
133		
134		
135		
136		
137		
138		
139		
140		
141		
142		
143		
144		
145		
146		
147		
148		
149		
150		
151		
152		
153		
154		
155		
156		
157		
158		
159		
160		
161		
162		
163		
164		
165		
166		
167		
168		
169		
170		
171		
172		
173		
174		
175		
176		
177		
178		
179		
180		
181		
182		
183		
184		
185		
186		
187		
188		
189		
190		
191		
192		
193		
194		
195		
196		
197		
198		
199		
200		
201		
202		
203		
204		
205		
206		
207		
208		
209		
210		
211		
212		
213		
214		
215		
216		
217		
218		
219		
220		
221		
222		
223		
224		
225		
226		
227		
228		
229		
230		
231		
232		
233		
234		
235		
236		
237		
238		
239		
240		
241		
242		
243		
244		
245		
246		
247		
248		
249		
250		
251		
252		
253		
254		
255		
256		
257		
258		
259		
260		
261		
262		
263		
264		
265		
266		
267		
268		
269		
270		
271		
272		
273		
274		
275		
276		
277		
278		
279		
280		
281		
282		
283		
284		
285		
286		
287		
288		
289		
290		
291		
292		
293		
294		
295		
296		
297		
298		
299		
300		
301		
302		
303		
304		
305		
306		
307		
308		
309		
310		
311		
312		
313		
314		
315		
316		
317		
318		
319		
320		
321		
322		
323		
324		
325		
326		
327		
328		
329		
330		
331		
332		
333		
334		
335		
336		
337		
338		
339		
340		
341		
342		
343		
344		
345		
346		
347		
348		
349		
350		
351		
352		
353		
354		
355		
356		
357		
358		
359		
360		
361		
362		
363		
364		
365		
366		
367		
368		
369		
370		
371		
372		
373		
374		
375		
376		
377		
378		
379		
380		
381		
382		
383		
384		
385		
386		
387		
388		
389		
390		
391		
392		
393		
394		
395		
396		
397		
398		
399		
400		
401		
402		
403		
404		
405		
406		
407		
408		
409		
410		
411		
412		
413		
414		
415		
416		
417		
418		
419		
420		
421		
422		
423		
424		
425		
426		
427		
428		
429		
430		
431		
432		
433		
434		
435		
436		
437		
438		
439		
440		
441		
442		
443		
444		
445		
446		
447		
448		
449		
450		
451		
452		
453		
454		
455		
456		
457		
458		
459		
460		
461		
462		
463		
464		
465		
466		
467		
468		
469		
470		
471		
472		
473		
474		
475		
476		
477		
478		
479		
480		
481		
482		
483		
484		
485		
486		
487		
488		
489		
490		
491		
492		
493		
494		
495		
496		
497		
498		
499		
500		
501		
502		
503		
504		
505		
506		
507		
508		
509		
510		
511		
512		
513		
514		
515		
516		
517		
518		
519		
520		
521		
522		
523		
524		
525		
526		
527		
528		
529		
530		
531		
532		
533		
534		
535		
536		
537		
538		
539		
540		

冬季施工工程 5

冬季施工工程 5

1 冬季施工概述

细节：冬期施工的特点及基本要求

随着我国建设事业的发展，内地建设也日益增多，特别是我国三北（东北、西北、华北）地区，随着各种资源的开发，在工业及民用建筑工程建设项目中，要求加快建设进度，使工程早日投产，充分发挥其经济效益和社会效益的项目越来越多。从而在北方广大地区，冬期施工任务也逐渐增多。

我国北方地区，冬期施工期一般为3~6个月，工程所占比重最高者可达30%。由于冬期施工有其特殊性及其复杂性，加之我国建设施工队伍技术水平参差不齐，根据多年经验，在这个季节进行施工，也是工程质量问题出现的多发季节。所以，选好施工方法，确定出较佳的质量保证措施，是确保工程质量，加快工程进度，并减少资源消耗的关键。

当日平均气温降低到5℃或5℃以下，或者最低气温降低到0℃或0℃以下时，用一般的施工方法难以达到预期目的，必须采取特殊方法进行施工方能满足要求，即认为进入了冬期施工阶段。

冬期施工特点是：

1) 冬期施工由于施工条件及环境不利，是工程质量易出现事故的多发季节，其质量事故出现约占全年事故总数的2/3以上，特别是以混凝土和地基基础工程居多。

2) 质量事故出现的隐蔽性、滞后性。即工程是冬天实施的，大多数事故在春季开始才暴露出来，因而给事故处理带来很大的难度，轻者进行修补，重者返工重来，不仅给工程带来损失，而且影响工程使用寿命。

3) 冬期施工的计划性和准备工作时间性强。这是由于准备工作时间仓促，技术要求复杂。往往有一些质量事故的发生，都是因为这一环节跟不上，匆忙施工造成的。

因而，对冬期施工基本要求是：

1) 加强计划安排。在北方地区进行工程建设，冬期施工计划安排非常重要。在全年计划期中，当预计要进行冬期施工时，一般每年7~8月份就应开始考虑，进行战略性的统筹安排，因为它涉及到我国各地区3~6个月的施工量。一个好的施工领导者绝不可忽视。

2) 抓紧施工准备工作。其中包括材料、专用设备、能源、暂设工程等。通常每年不晚于8月份即要抓紧进行。这一环节上不去，匆忙施工，既误工期，又影响质量。

3) 编好技术措施。这是指导施工的纲领性文件，要确定主要技术关键，规定单项工程施工方案编制原则和主要工程的技术规定。一般在每年9月份即应编制完毕。

4) 制定单项工程施工方案。在冬期施工技术措施等文件的指导下，根据国家规范、规程等规定，针对某单项工程特点，编制单项工程施工方案。内容有工程进度、施工方法、劳动组织、操作要点、质量要求和试验检测规定等内容，这是进行技术交底和技术培训的主要技术文件之一。

2 冬期施工细节详解

5) 重视技术培训和交底工作。这是保证工程质量, 加快工程进度的关键。要学习国家规范和规程中的相关规定, 要贯彻技术措施和施工方案, 提出工长、工人应知应会的基本要求, 必要时还应对主要技术骨干、工长和班组长进行考核, 通过后方可上岗。经验表明, 许多事故常常是由于忽视这一工作环节而造成的。

细节：冬期施工的起止时间

当气温低于0℃时, 应采取冬期施工措施, 以防止建筑工程遭受冻害。
各地采取冬施措施的大致时间, 可依据当地多年气温资料, 按照室外日平均气温连续5d 稳定低于5℃的范围确定。根据中央气象台 1951~1980 年间的统计资料, 全国部分城市日平均气温稳定低于5℃的初终日期见表 1-1。

表 1-1 全国部分城市日平均气温稳定低于 5℃的初终日期

城市名称	初终日期	天 数	城市名称	初终日期	天 数
海拉尔	25/9~11/5	228	哈密	25/10~25/3	150
哈尔滨	13/10~23/4	192	敦煌	26/10~22/3	147
牡丹江	13/10~22/4	191	上海	11/12~5/3	84
沈阳	25/10~6/4	163	武汉	5/12~2/3	87
丹东	6/11~6/4	151	汉中	27/11~2/3	95
呼和浩特	15/10~17/4	164	南昌	22/12~27/2	67
兰州	26/10~23/3	148	桂林	6/1~8/2	53
乌鲁木齐	12/10~11/4	181	重庆	13/1~25/1	12
北京	12/11~22/3	130	成都	31/12~1/1	1
济南	18/11~18/3	120	贵阳	11/12~28/2	79
锡林浩特	2/10~2/5	213	昆明	21/1~2/2	12
青岛	18/11~27/3	129	康定	19/10~13/4	176
银川	2/10~2/5	149	昌都	30/10~29/3	150
徐州	22/11~16/3	114	黑河	11/9~9/6	276
酒泉	19/10~11/4	174	拉萨	28/10~28/3	151
西安	18/11~9/3	111	格尔木	10/10~22/4	194
太原	1/11~26/3	145			

细节：气象术语、概念

1. 气温
指空气中的温度, 是将温度计放在通风、荫蔽、离地面 1.5m 高度处测得的空气温度。
单位: 摄氏度 (℃)。
2. 平均气温
指在一定时间里空气温度的平均状况。日平均气温是从 02、08、14、20 点四次观测所

得的气温平均值。单位：摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

3. 最高、最低气温

指在一定时间里极端状况下的气温。把每日最高气温(或最低气温)按旬或月计算出平均值叫旬(或月)平均最高气温(或平均最低气温)。单位：摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

4. 月极端最高、最低气温

指一月中任何一个时刻出现的极端最高值或最低值，分别称月极端最高或月极端最低气温。单位：摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

5. 地面温度

指直接与土表面接触的温度计所示的温度。包括地面温度、地面最高温度和地面最低温度。单位：摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

6. 地温

地面和地中不同深度的土温度统称地温。浅层地温包括离地面 5cm、10cm、15cm、20cm 深度的地中温度；较深层地温包括离地面 40cm、80cm、160cm、320cm 深度的地中温度。单位：摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

7. 日照时数

指太阳实照时数，即太阳光受云、雾阻挡外，实际照射到地面的时数。单位：小时(h)。

8. 日照百分率

实照时数与可照时数的百分比。单位：百分率(%)。

9. 降水量

空气中水汽凝结落到地面为降水。降水分液态(雨)、固态(雪、冰雹)。降水量以落到地面未经蒸发、渗透、流失而积聚的水平面上深度表示。单位：毫米(mm)。

10. 风速

指空气在单位时间中流动的水平距离。最大风速为 10min 平均最大值。单位：米/秒(m/s)。

11. 寒潮

按国家气象局统一规定，长江以北，当一日气温下降 8°C 以上，日最低气温达 5°C 以下者称为一次寒潮天气。对于严寒地区，下降 8°C 以上经常可见，因此不专门列入寒潮之中，但降温十分急剧又伴有暴风雪时，要按寒潮发布。

细节：传热的基本概念

1. 温度与热量

(1) 温度 温度是用来表示物体冷热程度的物理量，它反映了物体内部大量粒子热运动的剧烈程度和粒子热运动平均动能的大小。温度高的物体，其内部粒子热运动剧烈，粒子热运动平均动能大；温度低的物体，其内部粒子热运动程度低，粒子热运动平均动能小。

温度的数值标尺称为温标。任何温标都要规定基本定点和每一度的数值。国际单位制规定热力学温标，又称绝对温标，单位是开尔文(K)，表示符号是 T，中文代号是开。

(2) 热量 物体吸收和放出热能的多少称为热量。热量总是由高温物体自发地传向低

温物体,就像水总是从高处流向低处,电流总是从电位高处流向电位低处。因此温度差是传热的基本条件,没有温差就不会发生热量的传递。

有了温差,必然会发生传热过程,传热过程中必然有阻碍传热的另一面,称为传热阻力或热阻,单位面积、单位时间的传热量与传热的动力(温度差)成正比,与热阻成反比。平热量通常用字母 Q 表示。在工程单位制中,实用的热量单位是 J/s (焦耳/秒)。

2. 传热的基本方式

传热的方式有三种,即传导、对流、辐射。它们各有不同的传热机理,遵循着不同的规律,在实际传热过程中,往往同时存在,共同起作用。

(1) 传导传热 传导传热即导热,它是依靠物体中微观粒子的热运动而传递热量的。温度较高的物体,其内部微观粒子热运动动能较大,热运动也较激烈。当它与温度低、热运动动能较小的物体接触时,就会把自身的能量传给低温物体,这就是传导传热。

导热的特点是物体各部位之间不发生宏观的相对位移。传导传热可以发生在固体、液体或气体中。单纯的传导传热只发生在密实的固体中,如热量从建筑物内部通过墙壁向外散热。

(2) 对流传热 对流传热是依靠流体质点的宏观位移把热量从高温处传向低温处的过程。它只发生在流体的内部。对流传热的主要特点是传热过程中流体质点发生了相对位移。

对流传热发生在流体内部,但在生产实际中常见有流体与固体表面之间的传热,它既包括流体内部质点间的对流传热,也包括流体与固体表面接触处的层流底层中的传导传热,这个综合过程称为对流传热。

(3) 辅射传热 热能不以任何物质为媒介,直接以电磁波的方式从高温物体传向低温物体,这种传热方式称为辐射传热。例如,太阳每天把大量的热量以热辐射的方式传到地球上。

物体中的电子振动或激动的结果,就会向外放出辐射能。任何物体,只要其温度在绝对零度以上,内部的电子就会产生振动,放射辐射能。

一般物体总有辐射的能力,同时也具有吸收外界辐射的能力。因此,最终物体是放热还是吸热,主要取决于在同一时间内所放射和吸收的辐射能之差。

不同的物体在同一温度时,辐射换热仍在进行,只是每个物体在此时放射和吸收的能量在数值上相等,辐射换热的效果等于零,处于热的动平衡状态下。

细节: 导热的基本定律——傅里叶定律

傅里叶在大量实验的基础上提出:在导热过程中,单位时间内,单位面积上通过的热量与温度梯度成正比。在一维稳定温度场中,即为:

$$q = \frac{Q}{F} = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (1-1)$$

式中 q ——单位时间、单位面积上通过的热量,即热流量 (W/m^2);

Q ——单位时间,沿 x 轴方向通过面积 F 传递的热量 (W);

F ——与热流量方向垂直的传热面积 (m^2);

λ ——比例系数,称为热导率 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$];

(1-1) $\frac{dt}{dx}$ ——在 x 轴方向上的温度梯度 ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)。负号表示热流方向与温度梯度方向相反。

(2-1) 细节：围护结构的传热基本公式

(2-1) 1. 单层平壁的导热

当平壁较大而厚度较薄时，可忽略向周边的传热，认为平壁的温度只沿着垂直于壁面的 x 轴方向发生变化，为单向导热。

墙壁为单层时，如图 1-1 所示，一建筑物单层外墙壁的一部分，室内温度高于室外温度，且温度不随时间而变化。热能以导热的方式由墙体内表面经墙体传向墙的外表面，这是一个一维稳定导热的问题。

根据傅里叶定律，有：

$$Q_{\lambda} = \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) F \quad (1-2)$$

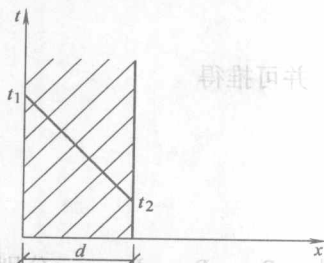


图 1-1 单层平壁导热

式中 Q_{λ} ——通过单层平壁的导热量 (W)；

F ——墙壁的传热面积 (m^2)；

(1-1) d ——墙壁的厚度 (m)；

t_1 ——墙壁内表面的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

t_2 ——墙壁外表面的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

λ ——墙体材料的热导率 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$]。

单位时间内通过单位面积的热量，即热流强度，用 q_{λ} 来表示：

$$q_{\lambda} = \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{\frac{d}{\lambda}} = \frac{t_1 - t_2}{R_{\lambda}} \quad (1-3)$$

式中 R_{λ} ——热阻，也就是热流通过墙壁时遇到的阻力，或者说墙壁抵抗热流通过的能力；

d ——墙壁的厚度 (m)；

t_1 ——墙壁内表面的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

t_2 ——墙壁外表面的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

λ ——墙体材料的热导率 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$]。

2. 多层平壁的导热

在工程中，常常遇到多层平壁。图 1-2 所示为由三种不同的材料组成的三层平壁，各层材料之间紧密结合，设厚度分别为 d_1 、 d_2 和 d_3 ，热导率分别为 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 且均为常数。壁的内外表面温度为 t_1 和 t_4 ， $t_1 > t_4$ 且均不随时间变化。层间接触面的温度为 t_2 和 t_3 。

把整个平壁看作是由三层平壁组成，则通过每一层的热流强度分别为：

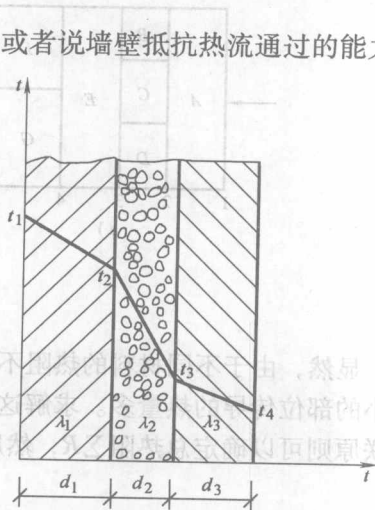


图 1-2 多层平壁导热

$$q_{\lambda 1} = \frac{\lambda_1}{d_1}(t_1 - t_2) \quad (1-4)$$

$$q_{\lambda 2} = \frac{\lambda_2}{d_2}(t_2 - t_3) \quad (1-5)$$

$$q_{\lambda 3} = \frac{\lambda_3}{d_3}(t_3 - t_4) \quad (1-6)$$

在稳定导热条件下,通过整个平壁的热流强度与通过各层的热流强度应相等,即:

并可推得

$$q_{\lambda} = q_{\lambda 1} = q_{\lambda 2} = q_{\lambda 3}$$

$$q_{\lambda} = \frac{t_1 - t_4}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} = \frac{t_1 - t_4}{R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2} + R_{\lambda 3}} \quad (1-7)$$

式中 $R_{\lambda 1}, R_{\lambda 2}, R_{\lambda 3}$ ——分别为第一、二、三层的热阻。

依次类推,第 n 层平壁的导热计算公式为:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1-8)$$

式中 $\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}$ ——各层导热阻力之和。

3. 复合平壁的导热

在实际工程中还常遇到另一种类型的平壁,即在平壁的高度和宽度方向上,用几种不同的材料砌成,这种平壁称为复合平壁,如图 1-3 所示。

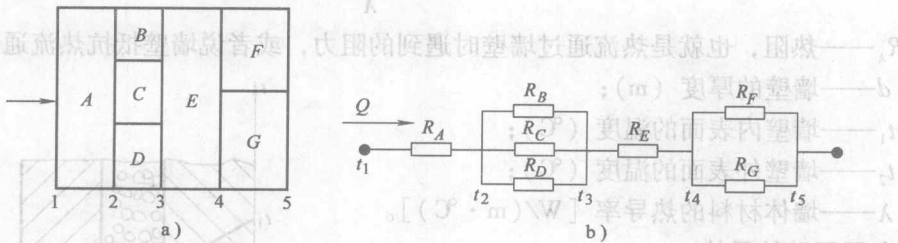


图 1-3 复合平壁

显然,由于不同材料的热阻不同,热流沿垂直于壁面方面上的分布是不均匀的,在热阻较小的部位传导的热量多。求解这一类问题,应用电热模拟是比较方便的,利用热阻串联和并联原则可以确定总热阻 ΣR , 然后根据一维热流方程,求得传热量,即:

$$Q = \frac{\Delta t}{\Sigma R} \quad (1-9)$$

式中 Δt ——壁两侧表面温度差 ($^{\circ}\text{C}$);

ΣR ——材料的总传热阻 $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$ 。

但应注意,只有当图中 B 、 C 、 D 等几种材料的热导率相近时,才可按一维导热问题来处理。

4. 圆筒壁导热

(1) 单层圆筒壁导热 当圆筒的长度远大于其直径时,沿长度方向的导热可忽略不计,温度仅沿半径方向变化,这种情况也可看作是单向稳定导热。

如图 1-4 所示,圆筒内、外半径各为 r_1 、 r_2 ,圆筒长为 L ,内、外壁温度为 t_1 、 t_2 ,且不随时间变化,材料的热导率为 λ 。

与平壁导热不同的是,圆筒壁导热沿热流方向上的传热面积是增加的。当传热量 Q 不变时,热流量 q 则因传热面积的变化而变化。

由傅里叶定律,有:

$$\frac{Q}{F} = q = -\lambda \frac{dt}{dr} \quad (1-10)$$

式中 $F = 2\pi rL$ 。

经推导可得

$$Q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} 2\pi L \quad (1-11)$$

式中 λ ——在 $(t_1 + t_2)/2$ 平均温度下的平均热导率 $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$ 。

式 (1-11) 也可写成下列形式:

$$Q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} 2\pi L = \lambda \frac{t_1 - t_2}{r_2 - r_1} 2\pi L r_{av} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{r_2 - r_1} F_{av} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{r_2 - r_1}{\lambda F_{av}}} \quad (1-12)$$

式中 r_{av} ——圆筒内、外半径的对数平均值 $r_{av} = \frac{r_2 - r_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$;

F_{av} ——圆筒内、外表面积的对数平均值 $F_{av} = 2\pi L \frac{r_2 - r_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$ 。

(2) 多层圆筒壁导热 对于由不同材料构成的多层圆筒壁,其导热的计算与多层平壁类似,也按总温差与总热阻之比来计算。

$$Q = \frac{(t_1 - t_{n+1}) 2\pi L}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} \quad (1-13)$$

或

圆筒壁导热示意图

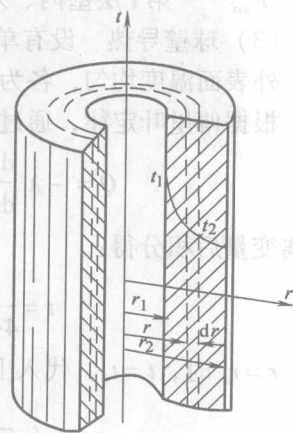


图 1-4 单层圆筒壁

$$Q = \frac{(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i F_{avi}}} \quad (1-14)$$

式中 λ_i ——第 i 层壁材平均温度的热导率 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$];

d_i ——第 i 层壁的厚度 (m);

F_{avi} ——第 i 层壁内、外表面积的对数平均值 (m^2)。

(3) 球壁导热 设有单层空心球, 内外半径各为 r_1 及 r_2 壁的平均温度下热导率为 λ , 内、外表面温度均匀, 各为 t_1 及 t_2 , 如图 1-5 所示。

根据傅里叶定律, 通过球壁的热量为:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} F = -\lambda \frac{dt}{dr} 4\pi r^2 \quad (1-15)$$

分离变量后积分得:

$$t = \frac{Q}{4\pi\lambda} \cdot \frac{1}{r} + c \quad (1-16)$$

$r = r_1$ 时, $t = t_1$, 代入上式得:

$$t_1 = \frac{Q}{4\pi\lambda r_1} + c \quad (1-17)$$

$r = r_2$ 时, $t = t_2$, 代入得:

$$t_2 = \frac{Q}{4\pi\lambda r_2} + c \quad (1-18)$$

将式 (1-17) - 式 (1-18) 得:

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{4\pi\lambda} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

即

$$Q = \frac{4\pi\lambda(t_1 - t_2)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \quad (1-19)$$

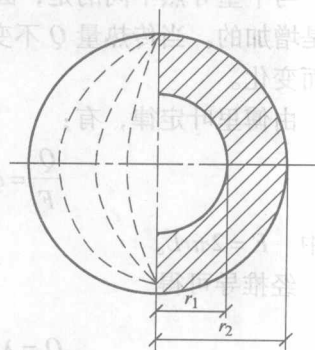


图 1-5 单层球壁导热

细节：材料的热导率

热导率 λ 的物理意义是, 当材料厚度为 1m, 两表面温度差为 1°C 时, 在 1h 内, 通过 1m^2 截面的导热热量。

围护结构材料很多, 热导率变化范围也很大。工程上通常把热导率小于 $0.2326\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料算做为绝热材料, 又把其中热导率小于 $0.02326\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料划为高效保温绝热材料。影响材料热导率的因素很多, 如密实性、内部孔隙大小和形状、工作温度, 含水量等。

(1) 材料质量密度对热导率的影响 一般固体材料由骨架和孔隙两部分组成。各种材

料的骨架成分的多少对热导率的影响并不很大,而材料孔隙数量和形状对热导率的影响较大。

热导率随孔隙率的增加而减小,随孔隙率减少而增大。也就是对某种材料来说,密度越小,热导率也越小;密度越大,热导率也越大。但同一种材料密度小到一定程度后再增大孔隙率,由于孔隙增大,辐射、对流传热增多,热导率反而会增大。特别当内部孔隙形成互相贯通的通路时,会使对流传热显著增加,反而起不到保温、隔热的作用。所以各种保温隔热材料都有其最佳密度界限。对纤维状材料更是如此,见图 1-6。

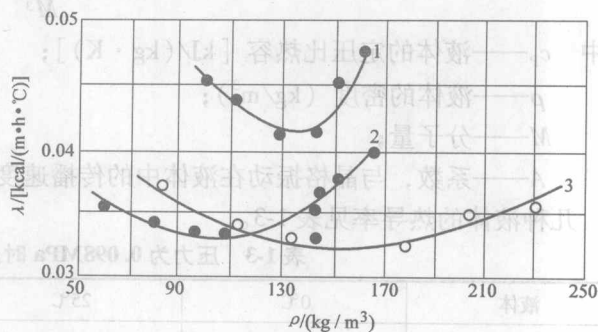


图 1-6 纤维材料密度与热导率的关系

1—沥青矿棉 2—树脂玻璃棉板 3—沥青玻璃棉毡

气体的热导率约在 $0.006 \sim 0.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 范围内变化。气体的导热是由于分子热运动和相互碰撞所发生的热量传递。所以根据气体分子运动理论,在常温常压下,可由下式计算:

$$\lambda = \frac{1}{3} \bar{\omega} \cdot \bar{L} \cdot \rho \cdot c_v \quad (1-20)$$

式中 $\bar{\omega}$ ——气体分子运动时均匀方根速度 (m/s);

$\bar{L}$ ——气体分子在两次碰撞间的平均自由行程 (m);

ρ ——气体密度 (kg/m^3);

c_v ——气体的比热容 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]。

几种气体的热导率见表 1-2。

表 1-2 气体热导率

[单位: $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

温度/ $^\circ\text{C}$	0	200	500
空气	0.0244	0.0393	0.0574
水蒸气	0.0206	0.0319	0.0517
氢气	0.170	0.281	0.374
氮气	0.141	0.195	0.263
氩气	0.0163	0.0211	0.0258

混合气体的热导率不能像比热容那样用分部求和方法来计算确定,而必须用实验方法测定。

液体的热导率,其数值变化在 $0.07 \sim 0.7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 之间。液体的导热主要通过晶格振动而实现,可按下列下式计算: