

郝天轩 魏建平 杨运良 张福旺 编著
高建良 主审

数字化及可视化技术 在矿井通风系统中的应用

Application of Technique on Digitalization and
Visualization in Mine Ventilation System

煤炭工业出版社

教育部长江学者和创新团队发展计划 (IRT0618)
教育部新世纪优秀人才支持计划 (NECT-07-0257)
河南省科技攻关项目 (624460003)
河南理工大学博士基金 (B2008-16)

Application of Technique on Digitalization and
Visualization in Mine Ventilation System

数字化及可视化技术 在矿井通风系统中的应用

郝天轩 魏建平 杨运良 张福旺 编著
高建良 主审

煤炭工业出版社

• 北 京 •

前 言

可靠的矿井通风系统是矿井安全生产的基本保障,随着煤炭工业的不断发展,矿井生产能力越来越大,开采深度和广度不断加大,开采的地质条件也更加复杂,矿井通风对矿井的生产与安全起着越来越大的影响。因此,在设计、分析、管理以及改造矿井通风系统时,始终使其保持良好、可靠的有序结构就显的尤为重要。

矿井通风系统是一个动态、多变的复杂系统,对其进行设计、分析、管理以及改造所需的工作量巨大。因此,采用传统的以手工处理为主的方法,效率低下且可靠程度低,适应不了现代化通风系统发展的需要,这就需要借助于计算机编程技术、CAD 技术、网络技术、数据库技术和 GIS 技术等先进的工具或方法,实现矿井通风系统的数字化和可视化。

实现矿井通风系统的数字化和可视化,就是结合矿井通风系统的特点,建立合适的数学模型,编制相应的数值算法,开发实用的应用平台来解决与矿井通风系统有关的实际问题,实现通风计算、分析、绘图的自动化,实现通风处理过程及处理结果的可视化。

实现矿井通风系统的数字化和可视化可将管理人员从繁重的计算过程中解放出来,为通风管理工作节省了大量的时间;使管理人员真实掌握矿井通风的运行状态,及时了解通风过程中存在的问题,为通风系统设计、优化和改造提供科学依据;使管理人员能够对矿井通风信息进行高效的管理和利用,实现矿井通风信息管理的现代化,使通风管理及决策处理工作更加直观化、快捷化、科学化。

本书第 1 章、第 2 章由河南理工大学郝天轩编写;第 3 章、第 4 章由河南理工大学魏建平编写;第 5 章由河南理工大学杨运良、赵文涛和河南工程学院王振江编写;第 6 章由河南理工大学高职院校贺智勇、平顶山天安煤业股份有限公司十矿张福旺编写。全书由河南理工大学高建良审定,由郝天轩对全书各章的内容进行统稿及协调。

由于作者水平有限,书中难免出现疏漏或错误之处,敬请各位专家学者批评指正。

编 者

2009 年 1 月

内 容 提 要

本书共分 6 章，主要包括矿内空气状态参数计算、矿井通风系统图 CAD 辅助绘制、矿井通风网络分析、矿井通风机计算机选型、矿井通风信息网络处理和矿井通风信息可视化等内容。重点介绍了如何利用先进的计算机技术、图形处理技术、数据库技术和网络技术建立数学模型、编制数值算法和开发应用平台，以实现矿井通风计算、分析和绘图的自动化，并实现通风处理过程及处理结果的可视化。

本书可作为从事矿业、安全科学与工程领域的教学、科研、管理及工程技术人员的参考书，也可作为高等学校安全、采矿等相关专业的教学用书。

目 次

1 矿内空气主要状态参数计算	1
1.1 矿内空气的成分及物理性质	1
1.2 水蒸气饱和压力的计算	5
1.3 相对湿度的计算	13
1.4 湿空气密度的计算	20
2 矿井通风系统图绘制 CAD 系统	26
2.1 CAD 简介	26
2.2 CAD 二次开发技术	27
2.3 创建 ObjectARX 程序	29
2.4 MventCAD 系统的组成、功能及实现方法	37
2.5 小结	75
3 矿井通风网络分析系统	76
3.1 图论基础	76
3.2 通风网络分析的数学模型	85
3.3 矿井通风网络分析系统	91
3.4 小结	121
4 矿井通风机计算机选型开发	122
4.1 通风机的基础知识	122
4.2 风机性能曲线绘制程序	127
4.3 矿井通风机优选算法及程序设计	135
4.4 程序计算实例	145
4.5 小结	146

5 矿井通风信息处理 Web 系统.....	148
5.1 矿井通风信息界定.....	148
5.2 系统功能规划与分析.....	151
5.3 系统体系结构及关键技术研究.....	157
5.4 矿井通风信息处理系统软件的开发.....	160
5.5 通风信息处理系统的现场应用.....	165
5.6 小结.....	180
6 基于 GIS 的矿井通风信息可视化.....	181
6.1 GIS 概述.....	181
6.2 矿井通风信息可视化研究的意义及进展.....	184
6.3 系统开发环境选取.....	186
6.4 矿井通风信息可视化系统数据库设计.....	193
6.5 矿井通风信息可视化系统的设计与实现.....	202
6.6 小结.....	223
参考文献.....	224

1 矿内空气主要状态参数计算

1.1 矿内空气的成分及物理性质

1.1.1 矿内空气的成分

地面空气是由多种气体组成的混合气体。空气中除水蒸气所占的比例经常变化外，其余化学组成所占的比例虽然随时间、地点和海拔高度有所变化，但不明显，是相对稳定的。空气的标准成分见表 1-1。

表 1-1 空气的标准成分

成分气体	相对分子质量	体积分数/%	质量分数/%
氮气	28.013	78.084	75.53
氧气	31.9988	20.9476	23.14
氩	39.934	0.934	0.05
二氧化碳	44.00995	0.0314	1.27
其他气体*	—	0.003	0.01

*其他气体指氦、氦、氦、氦、氦、甲烷和一氧化碳等。

地面空气进入矿井以后即称为矿内空气。矿内空气由于受到井下各种自然因素和生产过程的影响，与地面空气在成分和质量上有着程度不同的区别，如氧气浓度降低，二氧化碳浓度增加，混入各种有毒、有害气体和矿尘，空气的状态参数（温度、湿度和压力等）发生改变等。一般来说，将井巷中经过用风地点以前、受污染程度较轻的进风巷道内的空气，称为新鲜空气；经过用风地点以后、受污染程度较重的回风巷道内的空气，称为污浊空气。

矿内空气与地表大气的成分尽管不同，但其主要成分仍是氧气、氮气和二氧化碳。

1. 氧气

氧气是无色、无味、无臭的气体，对空气的相对体积质量（设空气的相对体积质量为 1）为 1.105。氧气的化学性质比较活泼，它能和许多物质发生化学反应，同时放出热量。氧能助燃，能供人和动物呼吸。

氧气是维持人体正常生理机能所不可缺少的气体,人类之所以能够在地球上生存,是因为人体内不断汲取食物和吸入氧气,通过氧化作用,进行细胞新陈代谢作用的结果。因此,空气中氧气的含量对人体健康影响甚大,当氧气含量减少时,人们会产生各种不舒适生理反应,严重缺氧会导致死亡。例如,当空气中氧气含量为 17% 时,人在静止状态下受其影响较小,而在紧张工作时就会感到强烈心跳和气喘;当氧气含量为 9%~12% 时,人很快进入昏迷状态,若不及时急救会有生命危险;当氧气含量为 6%~9% 时,人很快就失去知觉,不及时急救会导致死亡。

地面空气进入井下后,氧气浓度有所降低,其主要原因有:人员呼吸;煤岩、坑木和其他有机物的缓慢氧化;爆破工作;井下火灾、瓦斯和煤尘爆炸;煤岩和生产过程中产生的其他有害气体等。

2. 氮气

氮气是无色、无味、无臭的惰性气体,对空气的相对体积质量为 0.967,微溶于水,不助燃,无毒,不能供人呼吸。氮气在正常情况下对人体无害,但当空气中的氮气浓度增加时,会引起氧气浓度地降低,人会因缺氧而窒息。

矿内空气中氮气增加的主要原因是:井下爆破;有机物的腐烂;天然生成的氮气从煤岩中涌出等。

3. 二氧化碳

二氧化碳是无色、略带酸臭味的气体,对空气的相对体积质量为 1.519,不助燃也不能供人呼吸,略带毒性。它易溶于水,生成碳酸,对人眼、鼻和喉的黏膜有刺激作用,并且能刺激中枢神经,使呼吸加快。当肺气泡中二氧化碳含量增加到 2% 时,人的呼吸将增加一倍。

二氧化碳比空气重,常常积聚在矿井巷道底板、水仓、溜煤眼、下山尽头、盲巷、采空区及通风不良处。

矿内空气中二氧化碳的主要来源有:坑木腐烂;煤及含碳岩层的缓慢氧化;碳酸性岩石遇水分解;煤岩层释放;煤炭自燃;矿井火灾;人员呼气;井下爆破;瓦斯和煤尘爆炸等。

矿内空气有时还含有少量其他有毒有害气体,常见的有毒有害气体主要有:一氧化碳、二氧化氮、硫化氢、二氧化硫、甲烷和氢气等,其来源是爆破生成的炮烟、矿物氧化、火灾和爆炸等。

1.1.2 矿内空气的物理性质

矿内空气是由于空气、水蒸气和有害气体组成的混合气体。由于有害气体的含量小,成分复杂,变化大,在工程上将矿内空气当作干空气和水蒸气的混合气体(湿空气)来分析。与一般气体混合物相比,湿空气中的水蒸气在一定条件下将发生集态变化,质量经常变化,而干空气的质量是恒定的。由于工程中遇到的湿空气多处于大气压力或更低的压力

范围内,所以在分析计算时可作如下假设:

- (1) 气相混合物是理想气体混合物;
- (2) 当水蒸气凝结成液相或固相时,液相或固相中不含有溶解的空气;
- (3) 空气的存在不影响水蒸气与其凝聚相之间的相平衡,其平衡温度可按水蒸气分压力所对应的饱和温度计算。

以上假设不仅使问题大为简化,而且还具有足够的精确性,能够满足一般工程设计和分析的要求。

空气的物理性质是指湿空气在力和热的作用下所表现出来的与其他物质不同的特性。表征空气物理性质的物理量有两类:一类是空气的物性参数,包括气体常数、比热容和黏性系数等,这些物性参数随空气中水蒸气的含量变化而变化;另一类是空气的状态参数,包括压力、温度、密度、比体积、内能、焓和熵等。另外,湿空气还具有一些特殊的状态参数,例如饱和水蒸气压力、湿球温度、露点温度、绝对湿度、相对湿度和含湿量等。

下面主要介绍空气的物性参数,而湿空气的一些状态参数由于与矿井通风设计、优化和管理等直接相关,将在后面重点介绍。

1. 气体常数

干空气和湿空气都可近似看成是理想气体,满足理想气体状态方程,即

$$pv = RT \quad (1-1)$$

式中 p ——绝对压力,简称压力, Pa;

v ——比体积, m^3/kg ;

R ——气体常数, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

T ——热力学温度, K。

气体常数与气体的分子量成反比,氢的相对分子质量最小,其气体常数最大。对于给定的气体,其气体常数固定不变。干空气的相对分子质量和气体常数由其组成成分折合计算,干空气的折合相对分子质量为 28.97,折合气体常数为 $287\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;水蒸气的相对分子质量为 18.015,气体常数为 $461.5287\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;湿空气的折合相对分子质量和折合气体常数为

$$M = 28.97 - 10.95 \frac{p_v}{B} \quad (1-2)$$

$$R = \frac{8314}{M} = \frac{8314}{28.97 - 10.95 \frac{p_v}{p_0}} = \frac{287}{1 - 0.378 \frac{p_v}{p_0}} \quad (1-3)$$

式中 M ——湿空气的折合相对分子质量;

R ——湿空气的折合气体常数, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

p_v ——水蒸气的分压力, Pa;

p_0 ——大气压力, 即湿空气的绝对压力, Pa。

可见, 湿空气的折合相对分子质量和折合气体常数与水蒸气的分压力有关, 分压力越大, 则折合相对分子质量越小, 折合气体常数越大。

2. 比热容

每 1kg 气体温度升高或降低 1K 所吸收或放出的热量称为气体的质量比热容, 单位为 J/(kg·K) 或 kJ/(kg·K)。气体在温度变化的同时其比热容和压力可能发生变化, 容积保持不变时的比热容称为定容比热容, 压力保持不变时的比热容称为定压比热容。所有气体的定压比热容都大于定容比热容, 二者之差等于该气体的气体常数。

在矿井空气的热力计算中常用到定压比热容, 在常温常压下, 干空气的定压比热容为 1.01kJ/(kg·K), 水蒸气的定压比热容为 1.85kJ/(kg·K)。

3. 黏性系数

任何流体都有黏性。当流体以任一流速在管道中流动时, 靠近管道中心的流层流速快, 靠近管道壁的流层流速慢, 相邻两流层之间接触面上便产生黏性阻力(内摩擦力), 以阻止其相对运动, 流体具有的这一性质, 称为流体的黏性。根据牛顿内摩擦力定律, 流体分层间的内摩擦力为

$$F = \mu S \frac{dv}{dy} \quad (1-4)$$

式中 F ——内摩擦力, N;

μ ——动力黏性系数, Pa·s;

S ——流层之间的接触面积, m²;

dv/dy ——垂直于流动方向上的速度梯度, s⁻¹。

由上式可以看出, 当流体不流动或分层间无相对运动时, $dv/dy=0$, 则 $F=0$ 。需要说明的是, 不论流体是否流动, 流体具有黏性的性质是不变的。

在矿井通风中, 除了用动力黏性系数 μ 表示空气黏性大小外, 还常用运动黏性系数 ν (m²/s) 来表示空气黏性大小, 其与动力黏性系数的关系为

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-5)$$

式中 ρ ——空气的密度, kg/m³。

流体的黏性随温度和压力的变化而变化。对空气而言, 黏性系数随温度的升高而增大, 压力对黏性系数的影响可以忽略, 当温度为 20℃, 压力为 0.1MPa 时, 空气的动力黏性系数 $\mu=1.808 \times 10^{-5}$ Pa·s, 运动黏性系数 $\nu=1.501 \times 10^{-5}$ m²/s。

1.2 水蒸气饱和和压力的计算

为了表述方便,本章所列各种参数符号中的下标 v 表示水蒸气的参数, d 表示干空气的参数, S 表示水蒸气处于饱和状态时的参数。

湿空气的压力等于干空气分压力和水蒸气分压力之和,即

$$p = p_v + p_d$$

式中 p ——湿空气的压力,一般也就是当地大气压力;

p_v ——水蒸气的分压力;

p_d ——干空气的分压力。

湿空气又是特殊的理想混合气体,因为湿空气中水蒸气在适当的条件下,将发生相变。湿空气中的水蒸气通常处于未饱和状态。若湿空气中水蒸气处于饱和状态,这时的湿空气便称为饱和空气。根据水蒸气饱和的概念可以知道,未饱和空气内可以接纳更多的水蒸气,当湿空气达到饱和时,其中的水蒸气含量达到最大值,如再加入水蒸气,就会凝结出水珠,唯有提高空气温度,使对应的水蒸气饱和压力提高,才能进一步接纳水蒸气,这就是升温吸湿原理。

饱和空气状态下水蒸气的温度称为饱和温度,相对应的饱和水蒸气压力称为饱和压力。饱和水蒸气压力在气象上用来计算空气中的绝对湿度、相对湿度、露点、比湿等各湿度要素。气象仪器计量上,风速检定必须进行的空气密度修正及湿度检定中湿度标准控制和计算,都直接引用了干球与湿球饱和和水汽压。除大气科学研究与之关系密切外,海洋、水文、电力、化工、生物环境及航天科学等研究领域,都少不了这个重要物理因子,它的准确度直接影响了科研精度。水蒸气饱和压力通常有传统求解方法和电算法两种。

1.2.1 传统求解方法

根据某测点的风流干球温度,然后查不同温度下饱和水蒸气分压表(表 1-2),得出该测点的水蒸气饱和压力。

表 1-2 不同温度下饱和水蒸气分压表

hPa

温度/°C	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-4	4.37	4.33	4.29	4.27	4.23	4.20	4.16	4.12	4.08	4.05
-3	4.76	4.72	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	4.49	4.45	4.41
-2	5.17	5.13	5.09	5.05	5.01	4.96	4.92	4.88	4.84	4.80
-1	5.63	5.59	5.53	5.49	5.44	5.40	5.36	5.31	5.27	5.21
0	6.11	6.05	6.01	5.96	5.92	5.87	5.81	5.77	5.72	5.68

表 1-2 (续)

温度/°C	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	6.57	6.63	6.67	6.72	6.76	6.81	6.87	6.91	6.96	7.00
2	7.05	7.13	7.16	7.21	7.27	7.32	7.36	7.41	7.47	7.52
3	7.57	7.63	7.68	7.75	7.80	7.85	7.91	7.69	8.03	8.08
4	8.13	8.19	8.25	8.31	8.37	8.43	8.48	8.55	8.60	8.67
5	8.72	8.79	8.84	8.91	8.97	9.03	9.09	9.16	9.23	9.28
6	9.35	9.41	9.48	9.55	9.61	9.68	9.75	9.81	9.88	9.95
7	10.01	10.08	10.16	10.23	10.29	10.37	10.44	10.51	10.57	10.65
8	10.72	10.80	10.87	10.95	11.03	11.09	11.17	11.25	11.33	11.40
9	11.48	11.56	11.64	11.72	11.80	11.88	11.96	12.04	12.12	12.20
10	12.28	12.36	12.45	12.53	12.61	12.69	12.79	12.87	12.95	13.04
11	13.12	13.21	13.29	13.39	13.48	13.57	13.65	13.75	14.44	13.92
12	14.01	14.11	14.20	14.31	14.40	14.49	14.59	14.68	14.79	14.88
13	14.97	15.08	15.17	15.28	15.37	15.48	15.57	15.68	15.77	15.88
14	15.97	16.08	16.19	16.29	16.40	16.51	16.61	16.72	16.82	16.93
15	17.04	17.14	17.26	17.37	17.48	17.60	17.70	17.81	17.83	18.04
16	18.14	18.26	18.38	18.52	18.64	18.76	18.88	19.00	19.13	19.25
17	19.37	19.49	19.62	19.74	19.88	20.00	20.12	20.25	20.37	20.50
18	20.62	20.76	20.89	21.02	21.16	21.29	21.42	21.56	21.69	21.82
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.81	22.94	23.09	23.22
20	23.37	23.52	23.66	23.82	23.97	24.12	24.26	24.41	24.57	24.72
21	24.86	25.02	25.17	25.33	25.49	25.65	25.74	25.96	26.12	26.26
22	26.42	26.60	26.76	26.93	27.09	27.26	27.42	27.60	27.76	27.93
23	28.09	28.26	28.44	28.61	28.78	28.97	29.14	29.32	29.49	29.66
24	29.84	30.02	30.20	30.38	30.57	30.76	30.93	31.12	31.30	31.48
25	31.66	31.86	32.05	32.25	32.44	32.64	32.82	33.02	33.22	33.41
26	33.61	33.81	34.02	34.22	34.42	34.64	34.84	35.04	35.24	35.45
27	35.65	35.86	36.08	36.29	36.50	36.73	36.94	37.16	37.37	37.52
28	37.80	38.02	38.25	38.48	38.70	38.93	39.14	39.37	39.60	39.82
29	40.05	40.29	40.52	40.77	41.01	41.25	41.48	41.72	41.96	42.20

表 1-2 (续)

温度/°C	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
30	42.44	42.69	42.93	43.18	43.44	43.54	43.93	44.18	44.44	44.68
31	44.93	45.20	45.45	45.72	45.98	46.24	46.50	46.77	47.04	47.29
32	47.56	47.84	48.10	48.38	48.65	48.93	49.21	49.48	49.76	50.02
33	50.30	50.59	50.87	51.17	51.45	51.74	52.03	52.33	52.62	52.90
34	53.19	53.50	53.81	54.10	54.41	54.71	55.02	55.33	55.62	55.93
35	56.23	56.55	56.87	57.19	57.51	57.83	58.14	58.46	58.78	59.10
36	59.42	59.75	60.09	60.42	60.75	61.09	61.43	61.77	62.10	62.43
37	62.77	63.11	63.46	63.82	64.17	64.51	64.86	65.07	65.57	65.91
38	66.26	66.63	66.99	67.37	67.73	68.09	68.46	68.82	69.19	69.55
39	69.93	70.31	70.70	71.09	71.47	71.85	72.23	72.62	73.01	73.39
40	73.78	74.18	74.58	74.99	75.39	75.79	76.19	76.59	77.01	77.41
41	77.81	78.23	78.65	79.07	79.49	79.91	80.33	80.75	81.18	81.59
42	82.02	82.46	82.90	83.34	83.78	84.22	84.66	85.10	85.54	85.98
43	86.42	86.88	87.34	87.80	88.27	88.74	89.19	89.66	90.12	90.58
44	91.04	91.52	92.00	92.48	92.96	93.46	93.94	94.42	94.90	95.38
45	95.86	96.36	96.87	97.36	97.87	98.38	98.88	99.39	99.88	100.39

例 1-1 在矿内空气某点测得温度为 25.6℃, 求其对应的饱和水蒸气压力。

解:

在表 1-2 第一列中找到数据为 25 的行, 然后在第一行中找到数据为 0.6 的列, 交叉点所对应的数据 32.82 就是 25.6℃所对应的水蒸气饱和压力。

用查表的方法求解时精度不高, 只能准确查到小数点后面 1 位的数据, 如果饱和温度小数点后面保留两位或两位以上有效数字时, 只能通过插值得到近似数据。

1.2.2 电算法

1.2.2.1 数据库或文件法

1) 程序设计

根据饱和压力表, 按照温度、压力和温度从低到高的顺序, 用字处理软件 (如记事本) 建立一个文本文件或用数据库管理系统 (如 Microsoft Access) 建立一个数据库文件。由已知数据温度 T , 在建立的数据文件中查找其所在的温度区间 ($T(i-1), T(i)$), 以及在该温度区间上所对应的饱和压力 $p_s(i-1)$ 和 $p_s(i)$ 。由于 T 和 p_s 呈一曲线关系, 在 p_s - T 曲线上, 相邻两温度的区间所对应的曲线可看成一直线段, 当 T 落在区间 ($T(i-1), T(i)$) 时所对应的 $p_s(T)$

为

$$p_s(T) = p_s(i-1) + \frac{(p_s(i) - p_s(i-1))}{(T(i) - T(i-1)) \times (T - T(i-1))} \quad (1-6)$$

式中 T ——每次输入的温度, $^{\circ}\text{C}$;

$p_s(T)$ ——输入温度所对应的饱和压力值, Pa ;

$T(i-1)$ 、 $T(i)$ —— T 温度所落入区间的两端温度, $^{\circ}\text{C}$;

$p_s(i-1)$ 、 $p_s(i)$ —— $T(i-1)$ 、 $T(i)$ 所对应的压力值, Pa 。

2) 程序部分源代码 (文件法, C++语言编写)

```
FILE *fp;
fp=fopen("yalibiao.txt","r");//打开所建立的压力数据表文件
if(fp==NULL)
    cout<<"数据文件打开 yalibiao.txt 失败! ";
else
{
    double m_dTem;
    while(true)
    {
        cout<<"请输入测点温度 (-4~45) $^{\circ}\text{C}$ : ";
        cin>>m_dTem;
        if(m_dTem>=-4.0&& m_dTem<=45)
            break;
        else
            cout<<"数据超出有效范围, 请重新输入!";
    }
    //////////从文件中确定温度所在的区间, 以及温度两段所对应的压力/////
    double m_dTem1,m_dTem2,m_dYaLi1,m_dYaLi2,m_dResult;
    while(true)
    {
        fscanf(fp,"%lf",&m_dTem2);
        fscanf(fp,"%lf",&m_dYaLi2);
        if(m_dTem2>m_dTem)
            break;
        else
```

```

{
    m_dTem1=m_dTem2;
    m_dYaLi1=m_dYaLi2;
}
}

m_dResult=m_dYaLi1+(m_dYaLi2-m_dYaLi1)/(m_dTem2-m_dTem1)*(m_dTem-m_dTem1);
cout<<"\n 温度"<<m_dTem<<"所对应的水蒸气饱和压力为: "<<m_dResult;
}

```

3) 验证

运行该程序, 输入数据“26.75”后, 程序输出结果为“3514”, 这与通过查表和人工插值所得到得结果完全相同。

1.2.2.2 数学模型法

1. 选取合适的方程

计算饱和水蒸气压的方程、公式繁多, 但其中大放异彩的还属戈夫-格雷奇 (Goff-Gratch) 方程。它的严密、科学、准确使众多公式相形见绌, 是几十年来世界公认的最准确的公式。从 70 年代开始, Wexler 和 Greenspan 提出并发展了另一套较为精确的饱和水蒸气压计算公式, 称为 Wexler-Greenspan 公式。Goff-Gratch 和 Wexler-Greenspan 方程在计算过程中太烦琐复杂, 且不可逆性, 即若已知水蒸气压, 难以从方程逆算, 求温度与露点。所以各式各样的经验公式便应运而生, 气象学上有著名的马格那斯经验公式, 我国也有范金鹏的简化公式, 但与戈氏方程比较都存在着不同程度误差。

1) 戈夫-格雷奇 (Goff-Gratch) 方程

戈氏方程是用所给温度的饱和水蒸气压的对数表示的。

对于水平面上饱和水蒸气压 e_w (单位: hPa) 的计算公式为

$$\lg e_w = 10.79586 \left(1 - \frac{T_1}{T} \right) - 5.02808 \lg \left(\frac{T}{T_1} \right) + 1.50474 \times 10^{-4} \left(1 - 10^{-8.2969 \left(\frac{T}{T_1} - 1 \right)} \right) + 0.42873 \times 10^{-3} \left(10^{4.76955 \left(1 - \frac{T_1}{T} \right)} - 1 \right) + 0.786118 \quad (1-7)$$

对于冰面上饱和水蒸气压 e_i (单位: hPa) 的计算公式为

$$\lg e_i = -9.096936 \left(\frac{T_1}{T} - 1 \right) - 3.56654 \lg \left(\frac{T_1}{T} \right) + 0.876817 \left(1 - \frac{T}{T_1} \right) + 0.786118 \quad (1-8)$$

上面两式中, $T_1=273.16\text{K}$ (水的三相点温度), $T=273.16+t$ (绝对温度)。

2) Wexler-Greenspan 公式

对于水平面上饱和水蒸气压 e_w 的计算公式为

$$\ln e_w = \sum_{i=0}^6 g_i T^{i-2} + g_7 \ln T_{68} \quad (1-9)$$

对于冰面上饱和水蒸气压 e_i 的计算公式为

$$\ln e_i = \sum_{i=0}^2 l_i T^{i-1} + l_3 \ln T_{68} \quad (1-10)$$

式中 e_w ——某一温度下纯水面饱和水蒸气压力, hPa;

T_{68} ——1968 年国际实用温标 (IPST-68);

g_i ——系数, 其中 $g_0=0.29912729 \times 10^{-4}$, $g_1=0.60170128 \times 10^4$, $g_2=0.1887643854 \times 10^2$,
 $g_3=0.28354721 \times 10^{-1}$, $g_4=0.17838301 \times 10^{-4}$, $g_5=0.84150417 \times 10^{-8}$,
 $g_6=0.44412543 \times 10^{-12}$, $g_7=0.2858487 \times 10^1$;

e_i ——某一温度下冰面饱和水蒸气压力, hPa;

l_i ——系数, 其中 $l_0=-0.57170491 \times 10^4$, $l_1=0.9158658955 \times 10^1$, $l_2=-0.74950412 \times 10^{-2}$, $l_3=0.35067657 \times 10^1$;

T ——热力学温度, K。

3) 马格那斯经验公式

气象学及日常实用上通常引用马格那斯经验公式。该公式形式简洁, 计算简单, 其计算式为

$$e = e_0 \times 10^{\frac{7.45t}{235+t}} \quad \text{或} \quad e = e_0 \times e^{\frac{17.15}{235+t}} \quad (1-11)$$

式中 e ——某一温度下的饱和水蒸气压力, hPa;

e_0 —— 0°C 时的饱和水蒸气压力, 取 $e_0=6.11\text{hPa}$;

t ——当时的水面温度, $^\circ\text{C}$ 。

由于马氏公式中所选定的 3 个常数精度不高, 而且数值不很理想, 所以与戈氏方程算出的饱和水蒸气压有较大误差。

4) WMO1996 饱和水蒸气压公式

世界气象组织 (WMO) 在 1996 年第五版《气象仪器和观测方法指南》中公布了计算饱和水蒸气压的最新公式, 其在纯水平面时的饱和水蒸气压 e_w 为

$$e_w = e_0 \times \exp\left(\frac{17.62t}{24.3+t}\right) \quad (1-12)$$

式中 e_w ——某一温度下纯水面饱和水蒸气压力, hPa;

e_0 ——0℃时的饱和水蒸气压力, 取 $e_0=6.11\text{hPa}$;

t ——当时的水面温度, ℃。

5) 钟志武、范金鹏的指数公式

对于水平面上饱和水蒸气压 e_w 的计算公式为

$$\ln e_w = (10.286 \times T - 2148.4909) / (T - 35.85) \quad (1-13)$$

式中 e_w ——某一温度下纯水面饱和水蒸气压力, hPa;

T ——热力学温度, K。

对于冰面上饱和水蒸气压 e_i 的计算公式为

$$\ln e_i = 12.5633 - 2670.59 / T \quad (1-14)$$

式中 e_i ——某一温度下冰面饱和水蒸气压力, hPa;

T ——热力学温度, K。

6) 国军标 GJB1172 推荐的公式

国军标 GJB1172 推荐的饱和水蒸气压计算公式为

$$e = 6.11213 \exp[A(T - 173.15) / (T - B + C^2)] \quad (1-15)$$

式中 e ——饱和水蒸气压, hPa;

T ——热力学温度, K;

A 、 B 、 C ——经验系数。

A 、 B 、 C 所取数值如下:

纯水平面 (0~100℃): $A=20.013$; $B=16.286$; $C=2.492$ 。

过冷却纯水平面 (0~-50℃): $A=21.930$; $B=4.2526$; $C=4.422$ 。

纯冰平面 (0~-100℃): $A=23.151$; $B=-3.3151$; $C=6.10$ 。

为提高计算结果的精确性, 并结合矿内空气的实际情况, 在实际计算过程中我们采用式 (1-7) 进行计算。

2. 程序设计及算法实现

1) 界面设计

利用 Visual C++ 2005 生成一个基于 CFormView 视图类的单文档解决方案, 在主界面资源视图中添加所需的控件。本程序根据需要在界面上添加了一个“风流温度”文本编辑控件 (供用户输入风流的温度, 资源号为 IDC_WENDU)、一个“饱和水蒸气压力”文本编辑控件 (用于输出对应输入温度的饱和水蒸气压力, 资源号为 IDC_YALI) 和一个“计算”按钮 (用于模型建立及算法实现, 资源号为 IDC_JISUAN), 同时, 还在界面上添加了若干个用于说明的静态文本控件, 界面设计的最终结果如图 1-1 所示。

2) 为界面控件链接变量

为了在程序中能够访问所添加的控件, 根据需要应对部分控件分别链接变量。本程序